Diseño mecatrónico.

Profesores:

Ing. Serafín Castañeda Cedeño. sera_castaneda@yahoo.com.mx
CDMIT, Sala de proyectos.

Objetivo del curso.

- Ofrecer al alumno un panorama amplio de las disciplinas de la ingeniería necesarias y sus interacciones, para lograr el desarrollo de productos de innovación y desarrollo tecnológico a través de la integración en un diseño mecatrónico, basado en las metodologías y herramientas de vanguardia para la solución de problemas.

Temario.

1. Introducción al diseño mecatrónico.
2. Diseño mecánico.
3. Diseño electrónico.
4. Control.
5. Proyecto integral.

- Horario de asesoría.
- Viernes 12:00-14:00 hrs.
- Lunes y miércoles: teoría
- Viernes: Laboratorio.

Bibliografía.

CROSS, Nigel ***Engineering Design Methods*** **2nd edition** **John Wiley & Sons. 1997**	**FRENCH, Vierck** ***Dibujo de Ingeniería*** **México** **Mc Graw-Hill, 1981.**
AYALA, Álvaro *Normas de dibujo. Laboratorio de Ingeniería Mecánica Asistido por Computadora* México,Facultad de Ingeniería. UNAM, 2003.	ALACIATORE, David *Introduction to Mechatronics and Measurement System 3th* edition McGraw-Hill, 2007.
ERONINI-UMEZ-ERONINI Dinámica de Sistemas y Control Thomson, 2001.	NECSULESCU, Dan Mechatronics Prentice Hall, 2002.

Evaluación

- Prácticas (8-10) 3 pts.
  - Prototipo
    i. Funcionamiento 50%
    ii. Presentación 25%
    iii. Documentación 25%

  - Planos o informes
    i. Presentación (limpieza, organización, distribución, etc.) 50%
    ii. Documentación (información de valor) 50%

- 2 proyectos. 4 pts.
- Exámenes. (3) 3 pts.

- Todos los trabajos deberán se entregados en hojas tamaño carta.

Generales:

- Se formarán solo 8 equipos entre los alumnos inscritos asignados aleatoriamente.
- No se reciben prácticas y/o proyectos atrasados.

Definición del proyecto mecatrónico.

- El proyecto mecatrónico debe contener bien identificadas las partes de la ingeniería mecánica, electrónica, de control y computación que lo componen, aunque estas no se encuentren bien acotadas en el contexto del proyecto en general.

Descripción de los proyectos de integración

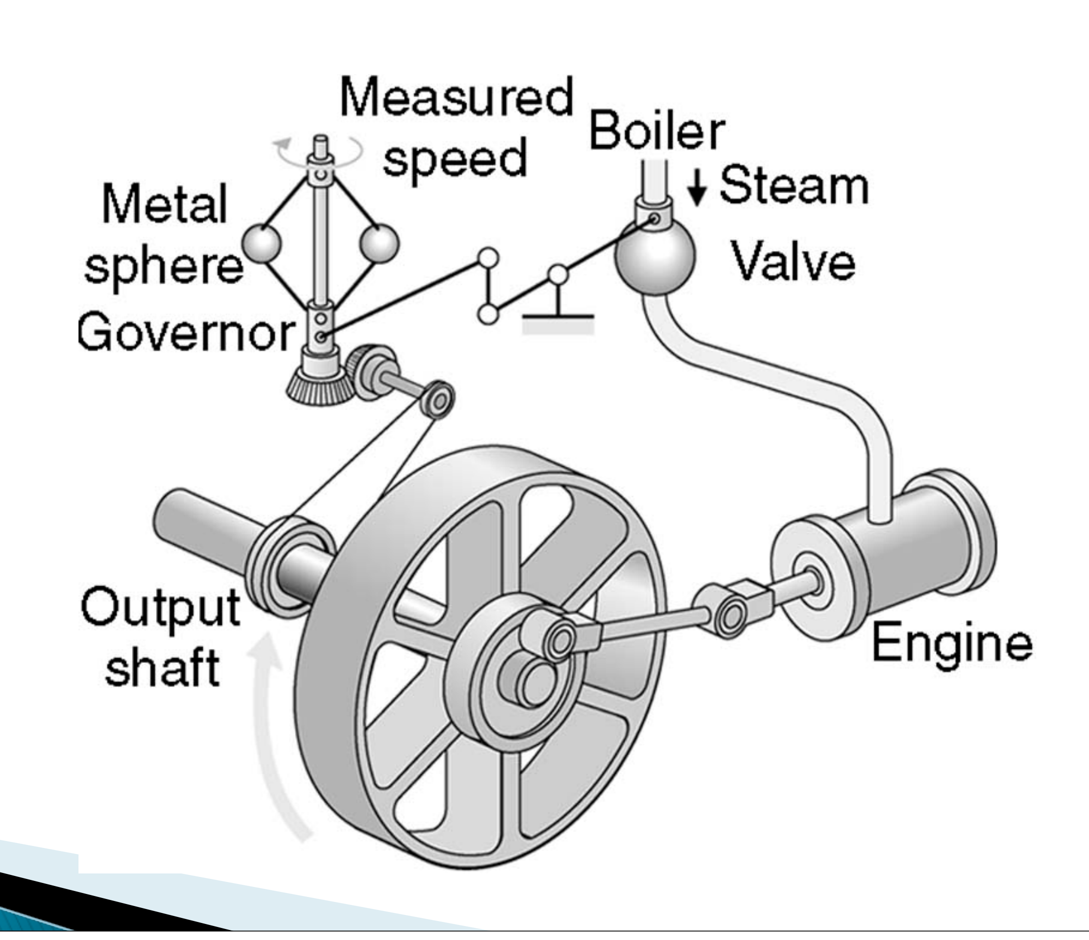
1. Sistema de posición X,θ para tiro parabólico
2. Péndulo invertido ó Scanner 3D

La naturaleza del diseño.

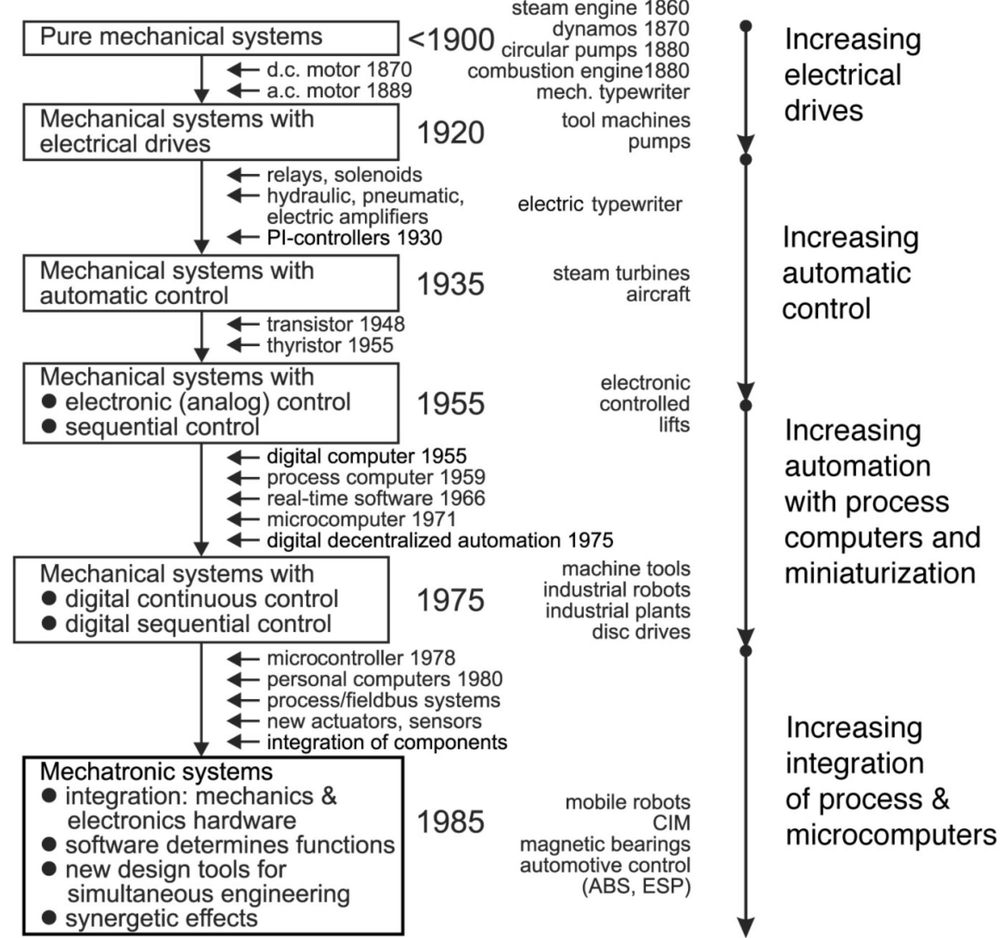
- “Todo lo que una persona pueda imaginar, otras podrán hacerlo realidad”. Julio Verne.

CLASE 1. INTRODUCCION

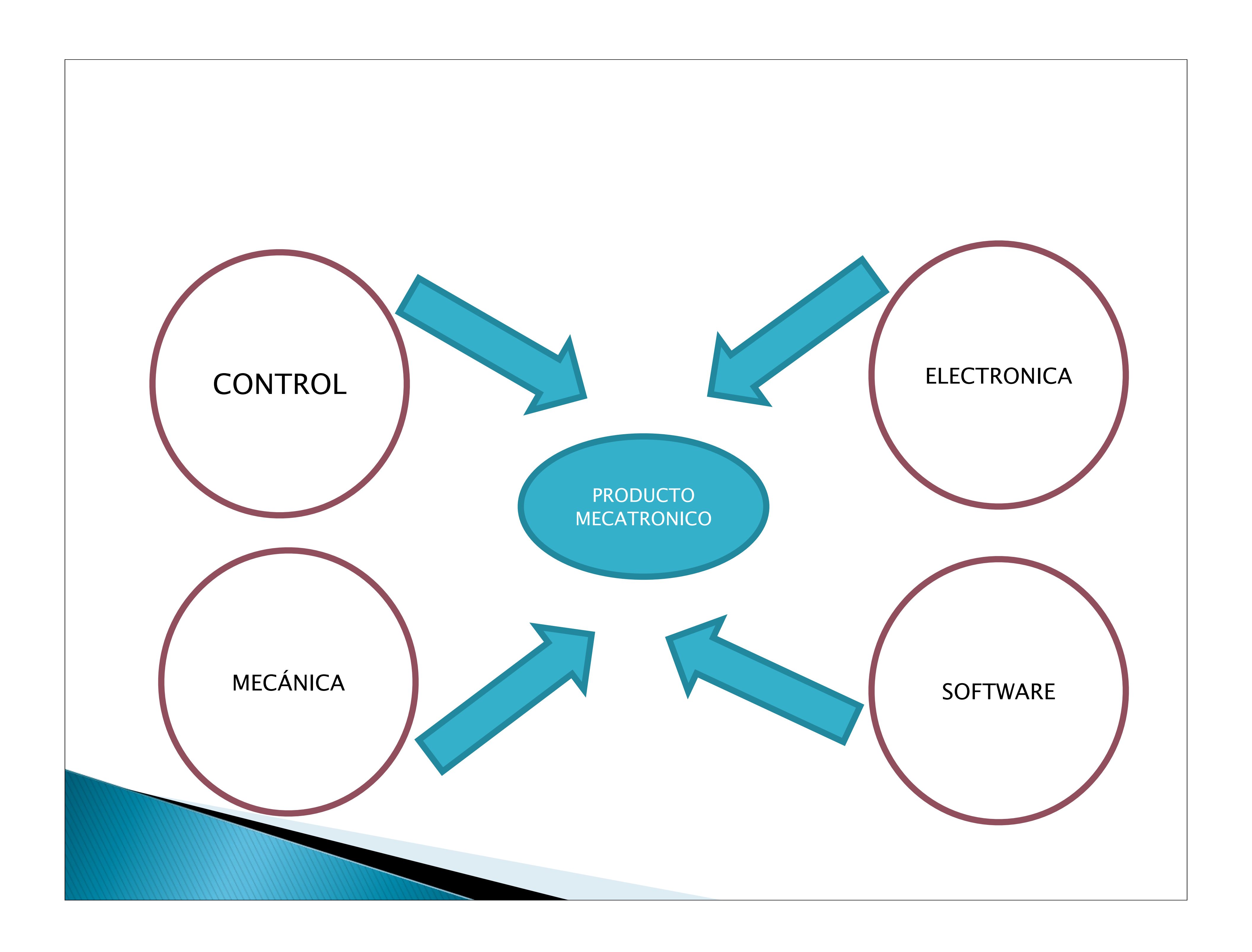
"Mechatronics is the synergetic integration of mechanical engineering with electronics and intelligent computer control in the design and manufacturing of industrial products and processes".

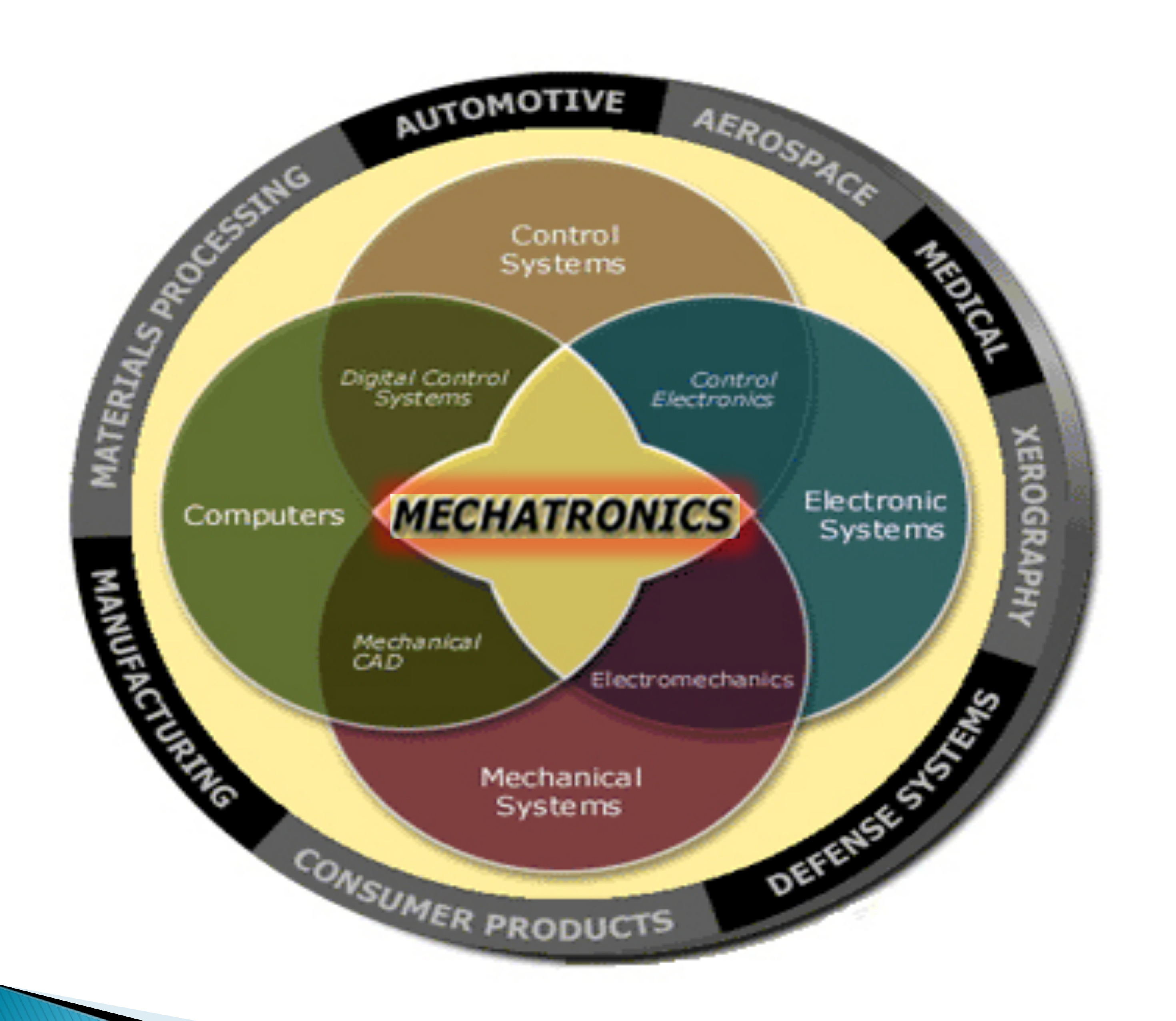


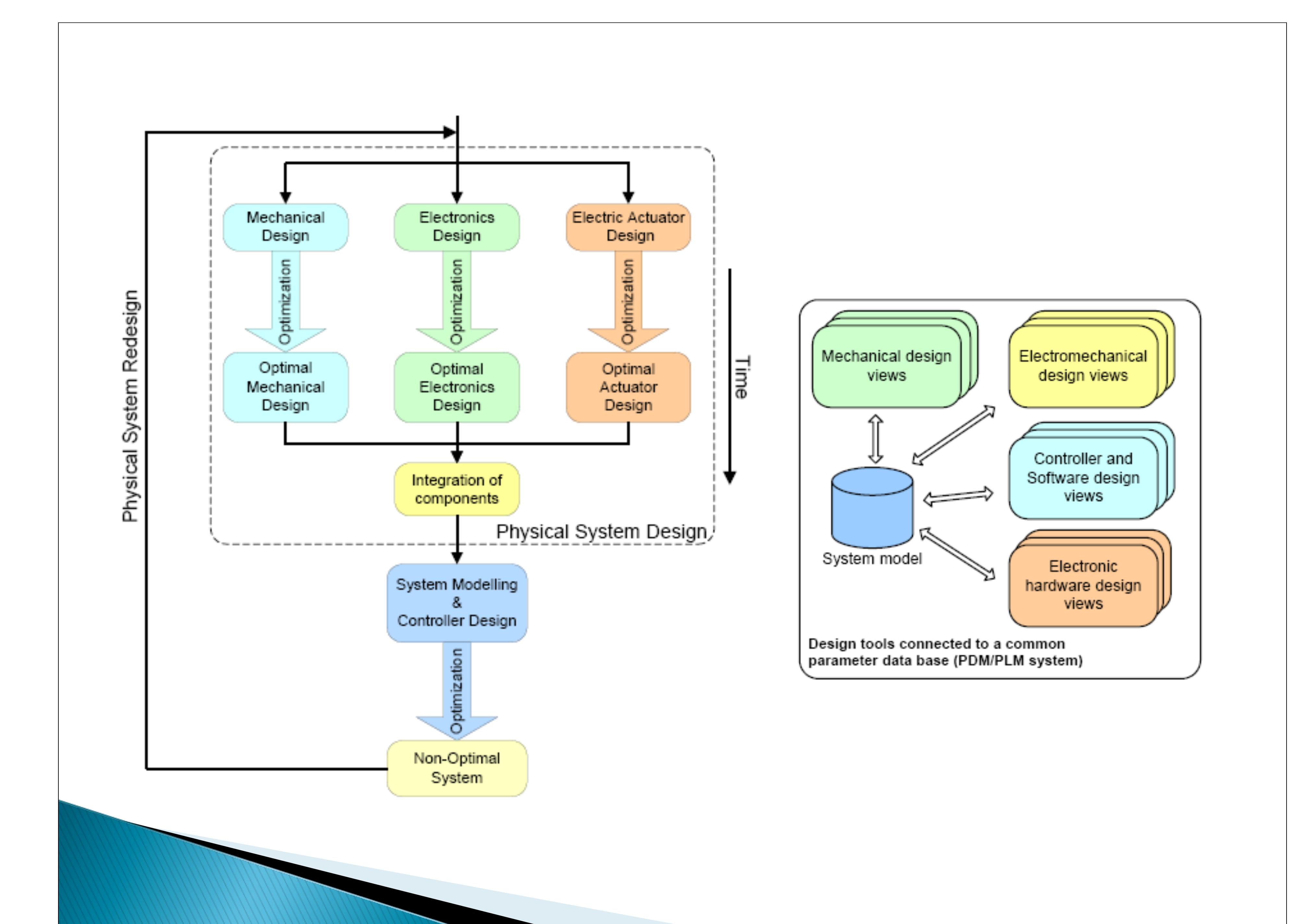
¿Qué es mecatrónica?

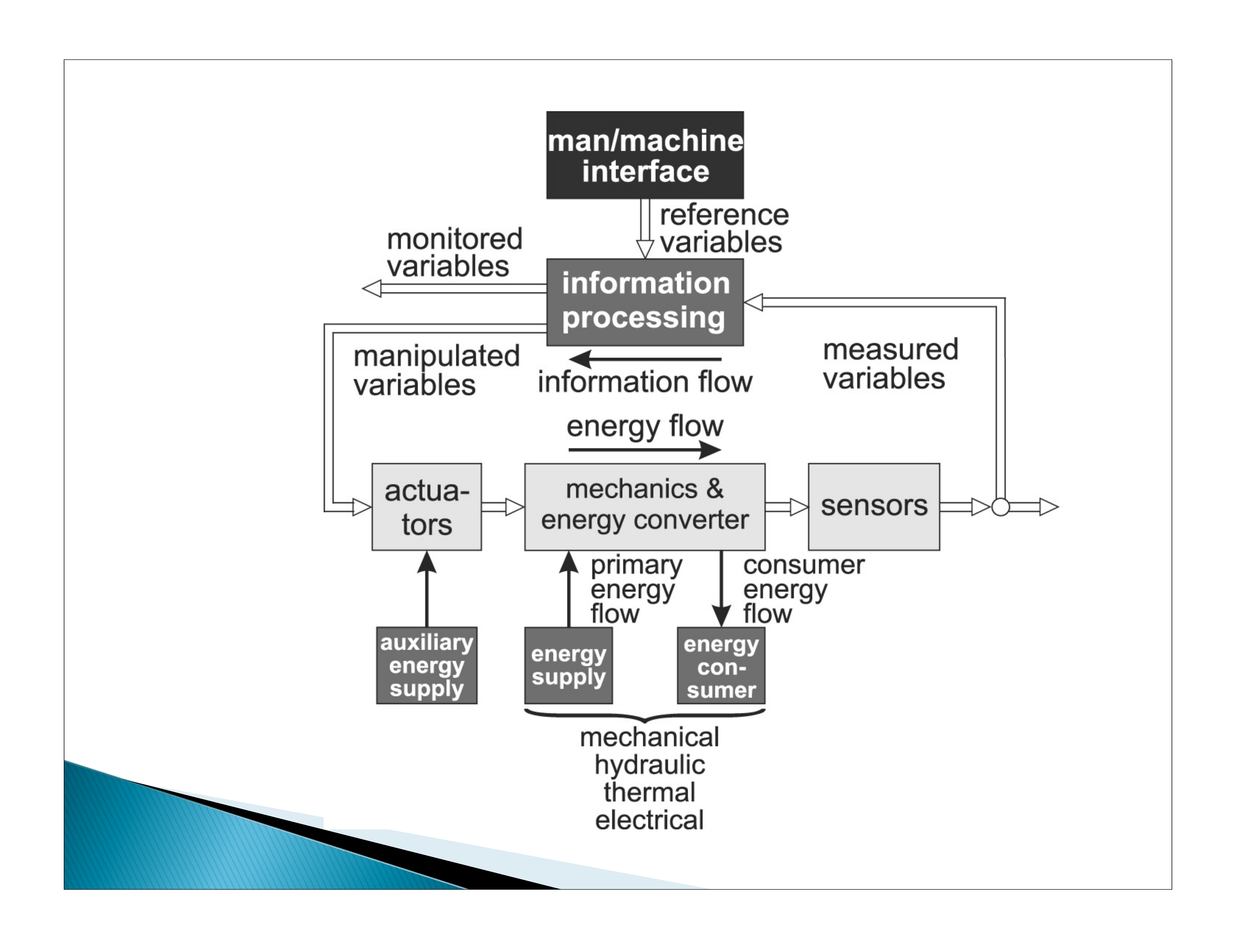


- Mecatrónica, termino concebido en Japón en los años 70´s y se ha adoptado por productos “inteligentes”, en realidad es una evolución natural del proceso moderno del diseño en ingeniería.

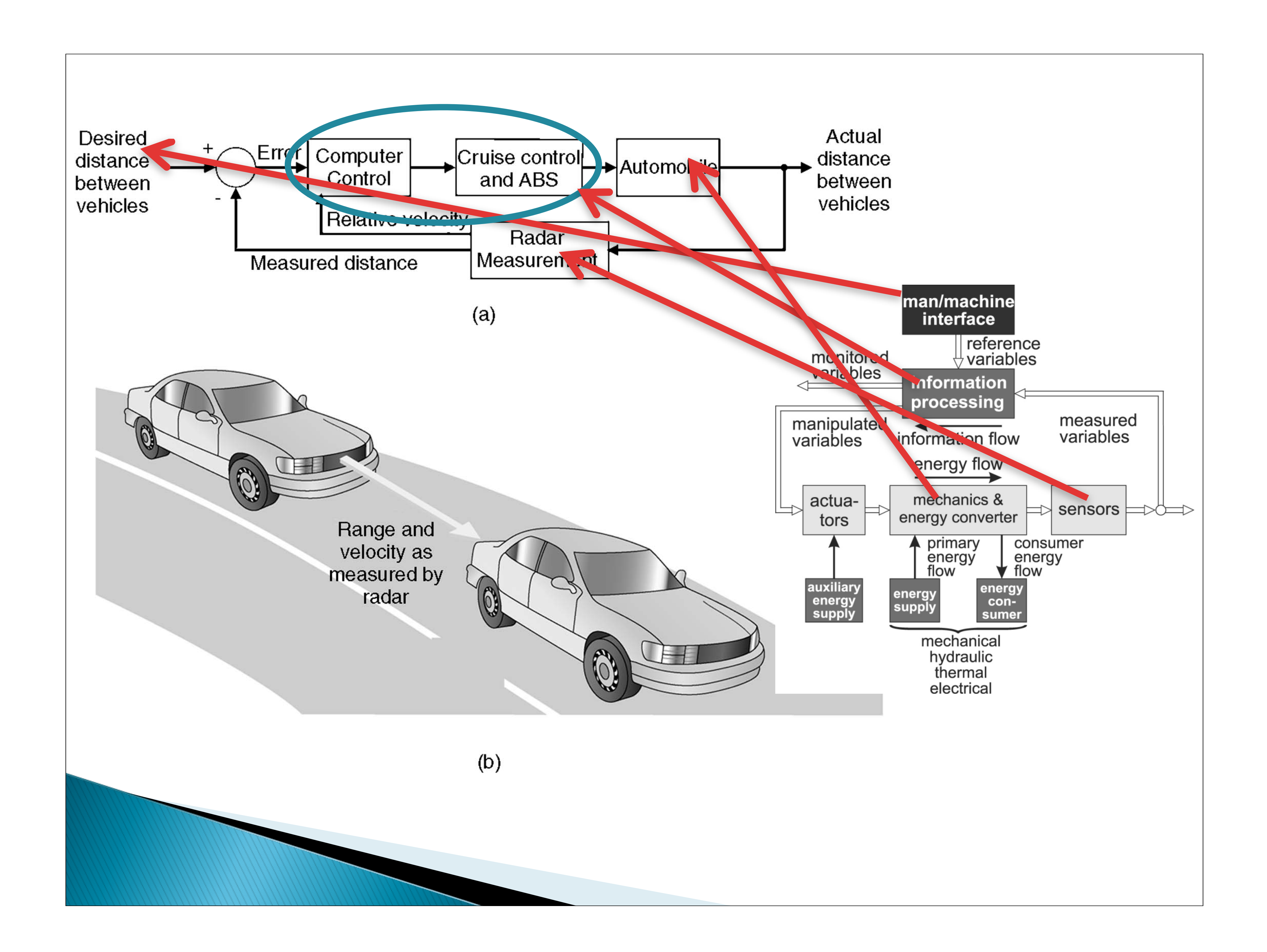

CONTROL
ELECTRONICA
PRODUCTO
MECATRONICO
MECÁNICA
SOFTWARE

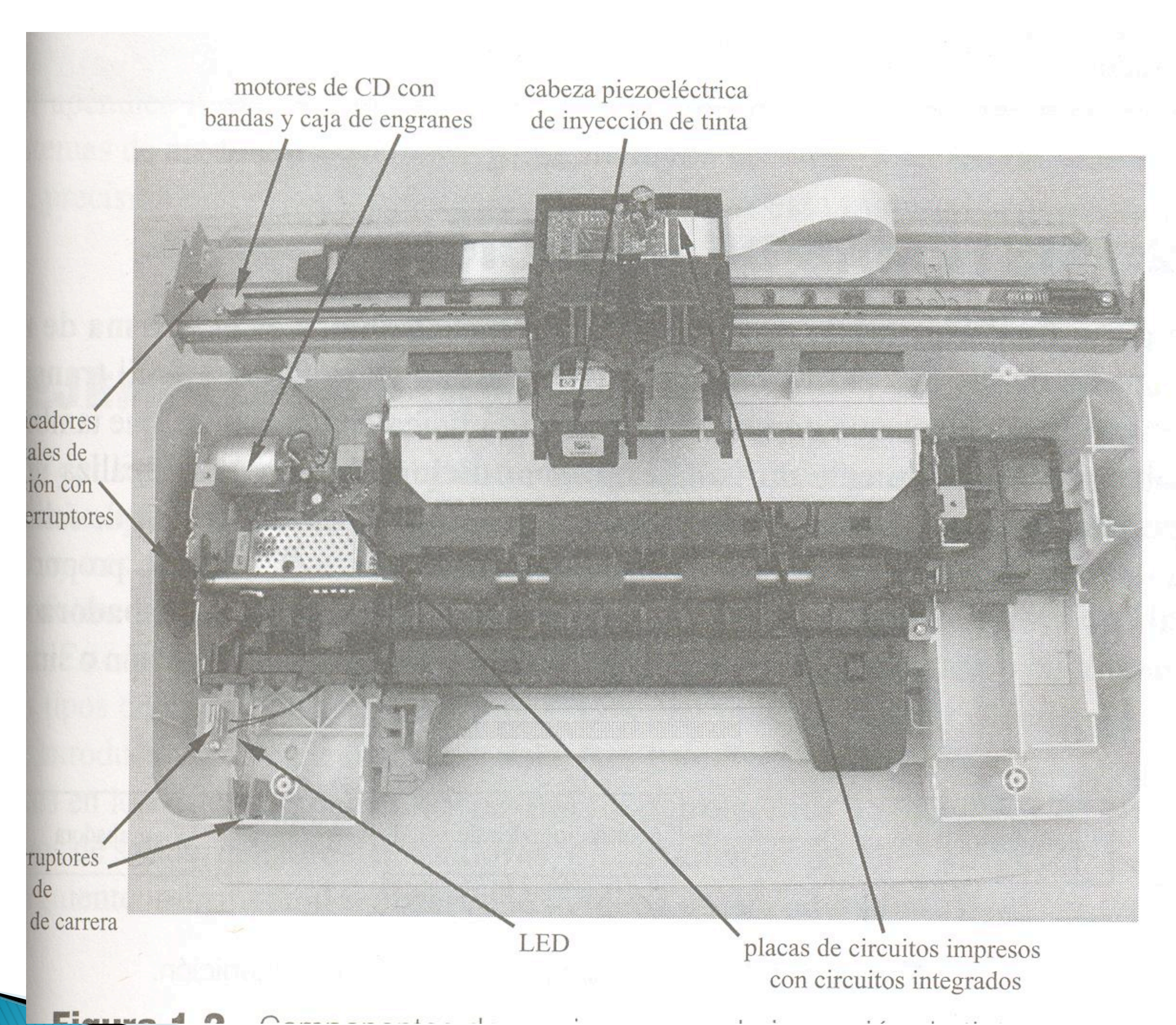

AUTOMOTIVE
AEROSPACE
MEDICAL
XEROGRAPHY
DEFENSE SYSTEMS
CONSUMER PRODUCTS
MANUFACTURING
MATERIALS PROCESSING
Control Systems
Digital Control Systems
Control Electronics
Computers
MECHATRONICS
Electronic Systems
Mechanical CAD
Electromechanics
Mechanical Systems


Physical System Redesign
Mechanical Design
Electronics Design
Electric Actuator Design
Optimization
Optimization
Optimization
Optimal Mechanical Design
Optimal Electronics Design
Optimal Actuator Design
Time
Integration of components
Physical System Design
System Modelling & Controller Design
Optimization
Non-Optimal System
Mechanical design views
Electromechanical design views
Controller and Software design views
Electronic hardware design views
System model
Design tools connected to a common parameter data base (PDM/PLM system)

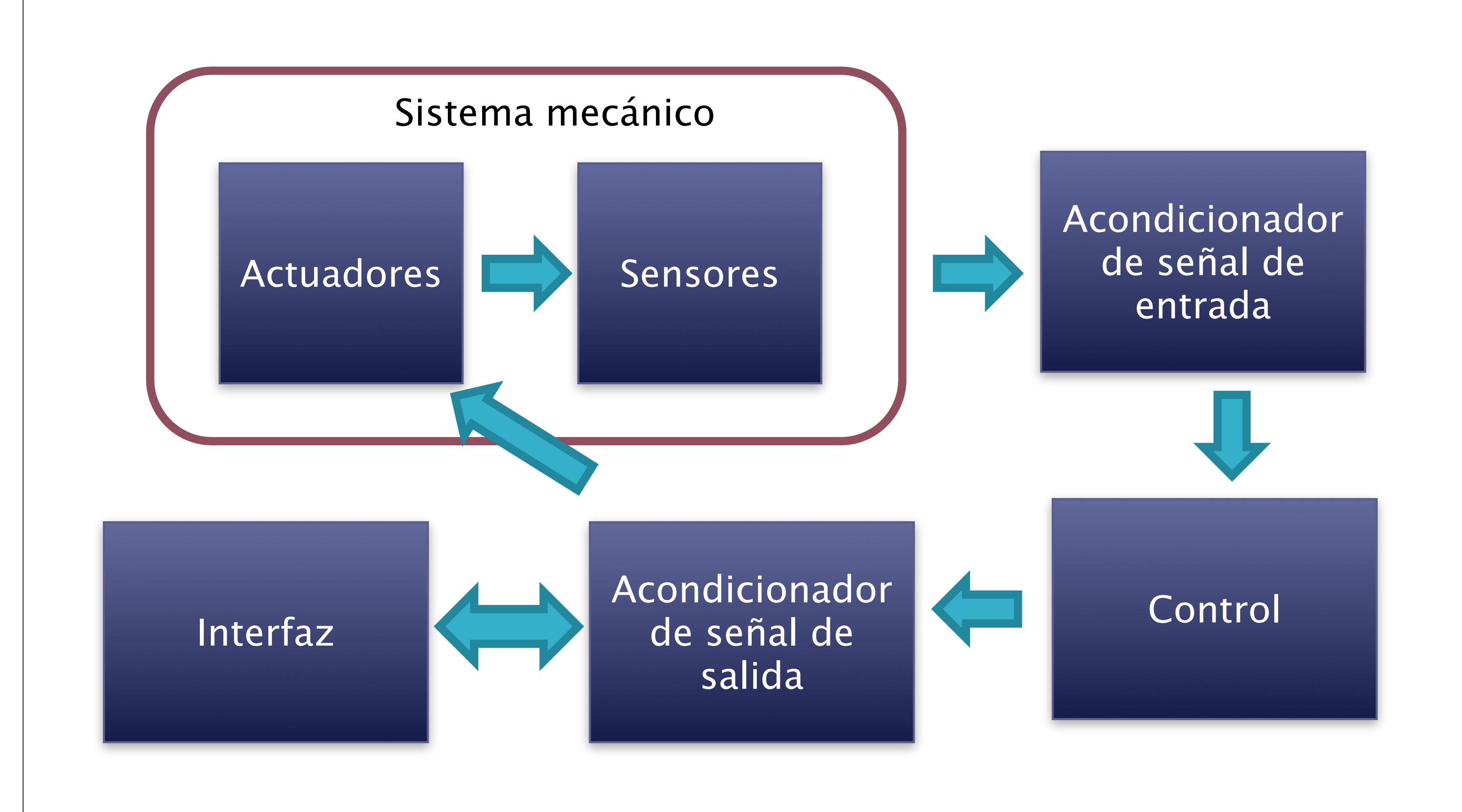


man/machine interface
reference variables
monitored variables
information processing
manipulated variables
information flow
measured variables
energy flow
actua-tors
mechanics & energy converter
sensors
primary energy flow
consumer energy flow
auxiliary energy supply
energy supply
energy con-sumer
mechanical
hydraulic
thermal
electrical


Desired distance between vehicles
+
-
Error
Computer Control
Cruise control and ABS
Automobile
Actual distance between vehicles
Relative velocity
Radar Measurement
Measured distance
(a)
Range and velocity as measured by radar
(b)
man/machine interface
reference variables
monitored variables
information processing
manipulated variables
information flow
measured variables
energy flow
actua-tors
mechanics & energy converter
sensors
primary energy flow
consumer energy flow
auxiliary energy supply
energy supply
energy con-sumer
mechanical
hydraulic
thermal
electrical



Video ejemplo


Sistema mecánico
Actuadores
Sensores
Acondicionador de señal de entrada
Control
Acondicionador de señal de salida
Interfaz

Tarea No.1 Lavadora doméstica.

a)Describa detalladamente el proceso de funcionamiento.
b)Realice una descripción de partes y componentes del sistema mecánico, electrónico y de control con los que cuenta.

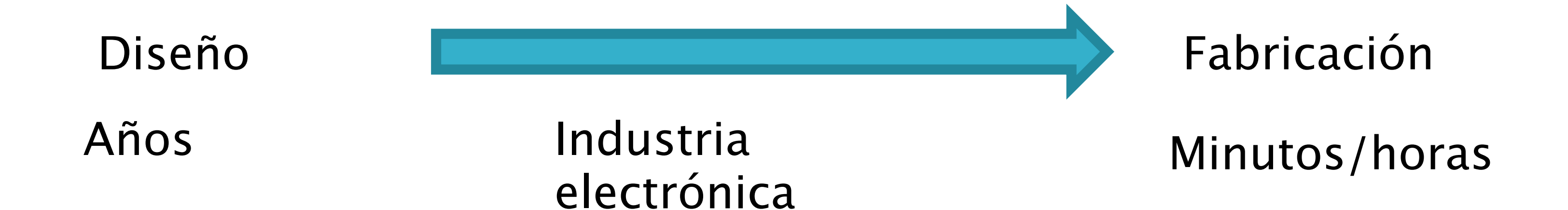
DISEÑO

- No requiere de habilidades especiales
- No es indispensable.



Diseño = Fabricación

Lo que caracteriza el diseño que realizan los ingenieros en el ámbito de su especialidad es que se emplean métodos y técnicas apropiadas para hacer este proceso más eficiente y para lograr un producto de mejor calidad, todo ello al menor costo posible.



Muchas veces se comienza desde el final, desde que el diseño se ha concluido, por eso es mejor realizar una descripción del artefacto que se va ha trabajar (formas, dimensiones, materiales, colores, etc.).

Postulados esenciales del diseño.

- Lo simple es más hermoso
- La ley de Murphy se cumple inexorablemente
- No existe el diseño óptimo sino buenos diseños (lo perfecto es enemigo de lo bueno)
- Se debe usar siempre que se pueda, componentes estándares disponibles en el comercio.
- Toda proyección de tiempo para obtener el producto se va a quedar corta.
- El proceso de diseño define tanto como el 70% del costo del producto pero solo contribuye con una fracción muy menor de este.
- El usuario del producto siempre hará todo lo necesario para malograrlo.
- Que funcione el prototipo es lo más fácil, que el producto sea robusto y confiable es lo que cuesta.
- La operación del producto debe ser fácil, ojalá a prueba de tontos.

“Una gran cantidad del diseño de ingeniería es intuitivo, basado en el pensamiento subjetivo. Sin embargo, un ingeniero no se conforma con esto. Un ingeniero desea probar; probar y medir. Así como ha sido formado y no está contento si no puede probar algo. Por otra parte, un diseñador industrial, con su formación en la escuela de artes, está totalmente conforme haciendo juicios que son intuitivos”.

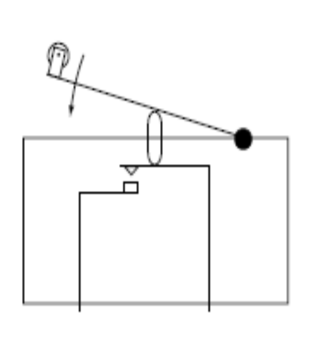
Richard Stevens. Diseñador Industrial.

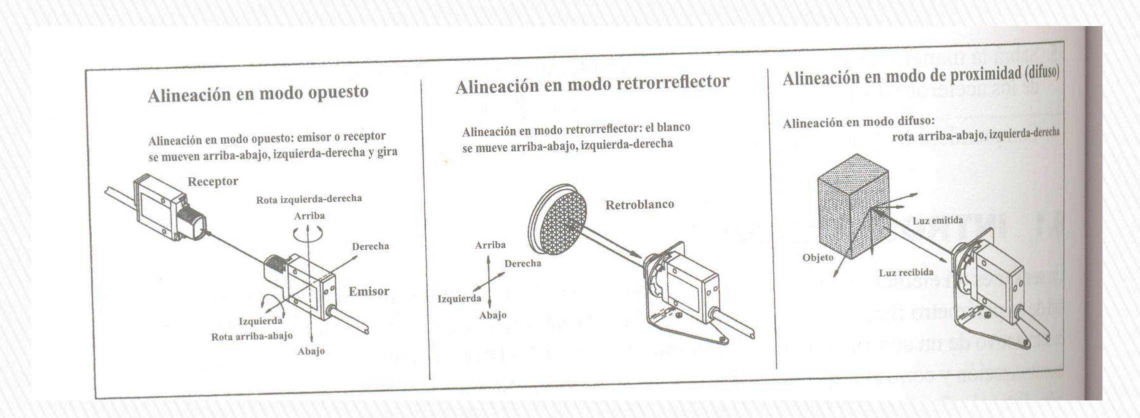
Sensores.

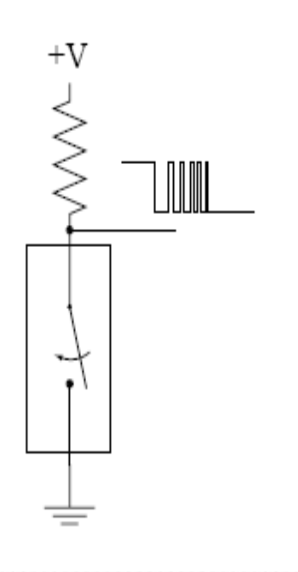
Un sensor es un elemento en un sistema mecatrónico que detecta la magnitud de un parámetro físico y lo cambia por una señal que puede procesar el sistema.

Medición deposición y velocidad.

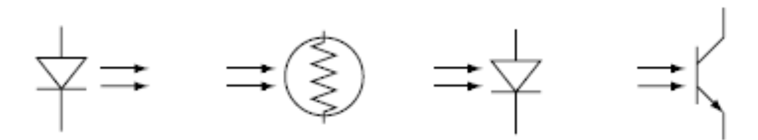
- Interruptores de limite de carrera ó de proximidad.
  - Interruptores mecánicos.
  - Inductivos.
  - Capacitivos.
  - Corriente parásita (Eddy)
  - Ópticos:
    - Alineación en modo opuesto
    - Retrorreflector
    - modo de proximidad (difuso)

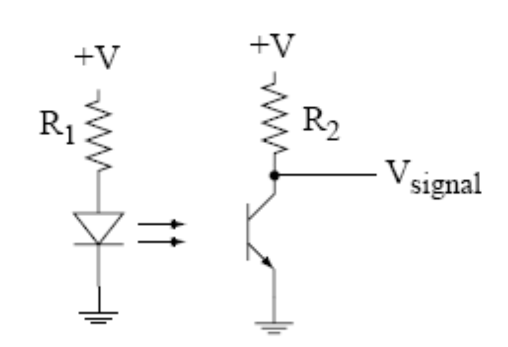


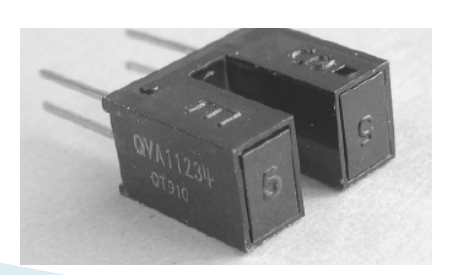


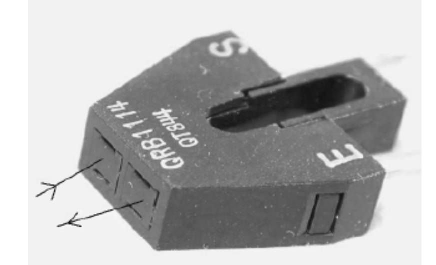


- Sensores ópticos

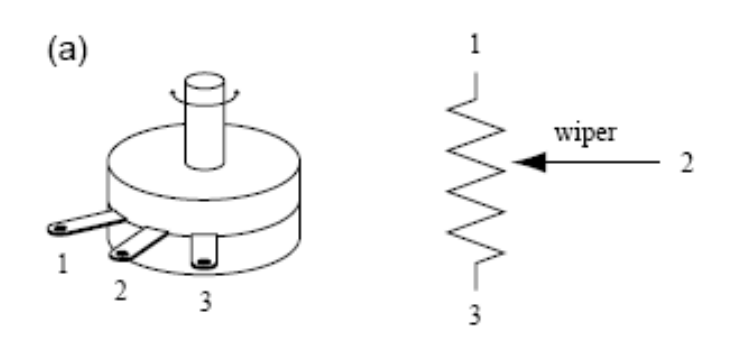


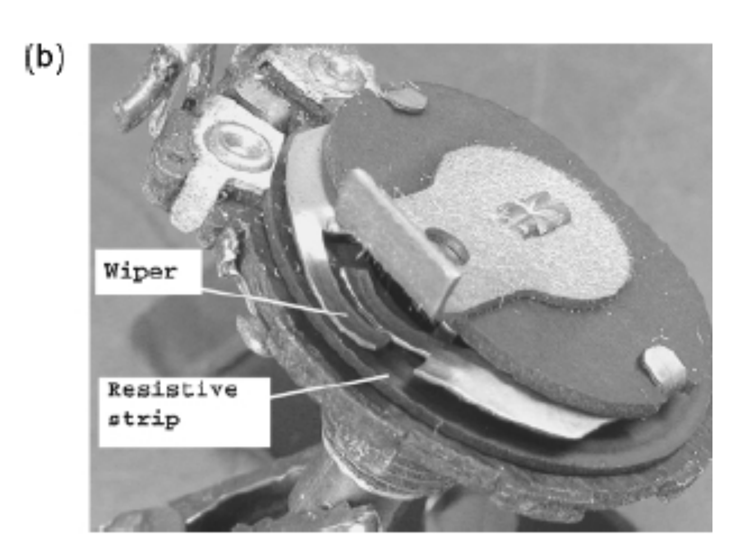






Resistivos (Potenciómetro)

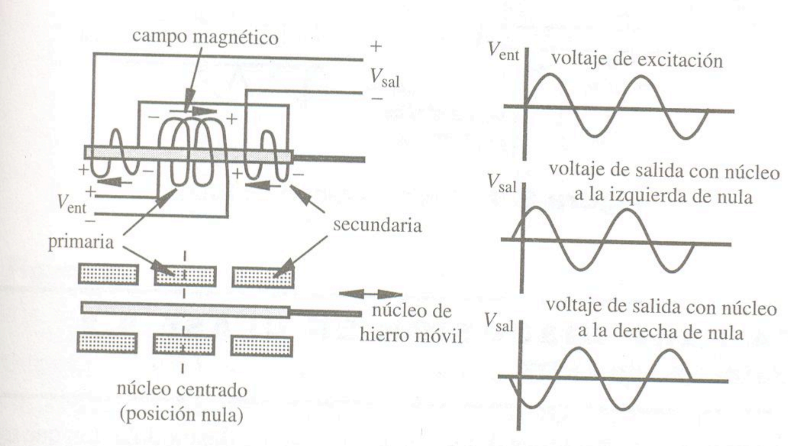


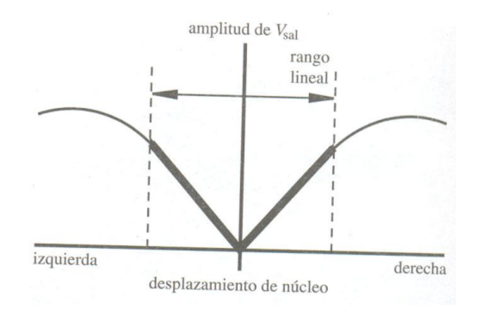


- No lineales.
- Resolución??
- Variaciones con respecto a T.
- Fuerza para provocar movimiento.

Transformador Lineal Diferencial Variable (LVDT)

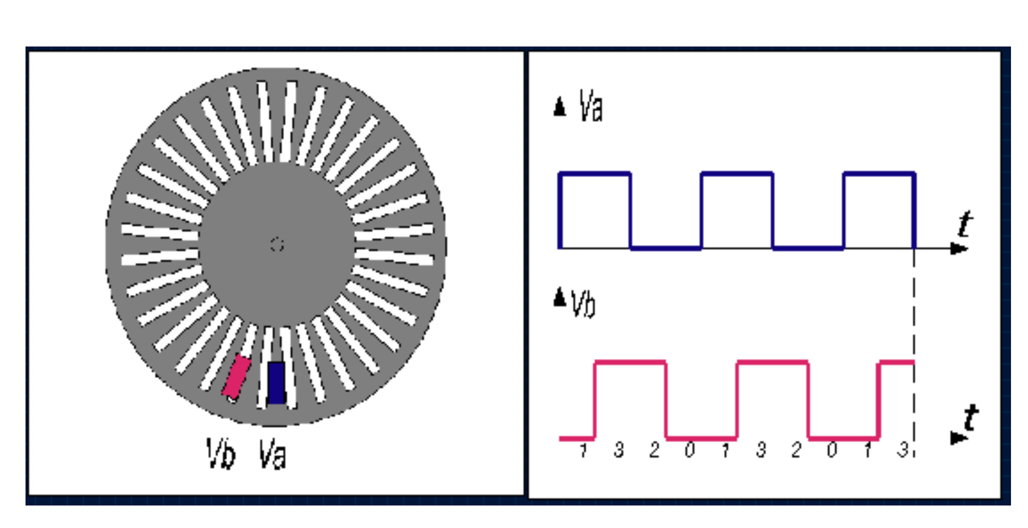
- Transductor para medir el desplazamiento lineal. Los voltajes se inducen en la bobina secundaria.
- Existe un punto medio en la posición del núcleo donde e voltaje inducido en cada bobina es de la misma amplitud y 180° fuera de fase, lo que produce una salida "nula".
- Conforme el núcleo se mueve desde la posición nula, la amplitud aumenta una cantidad proporcional.

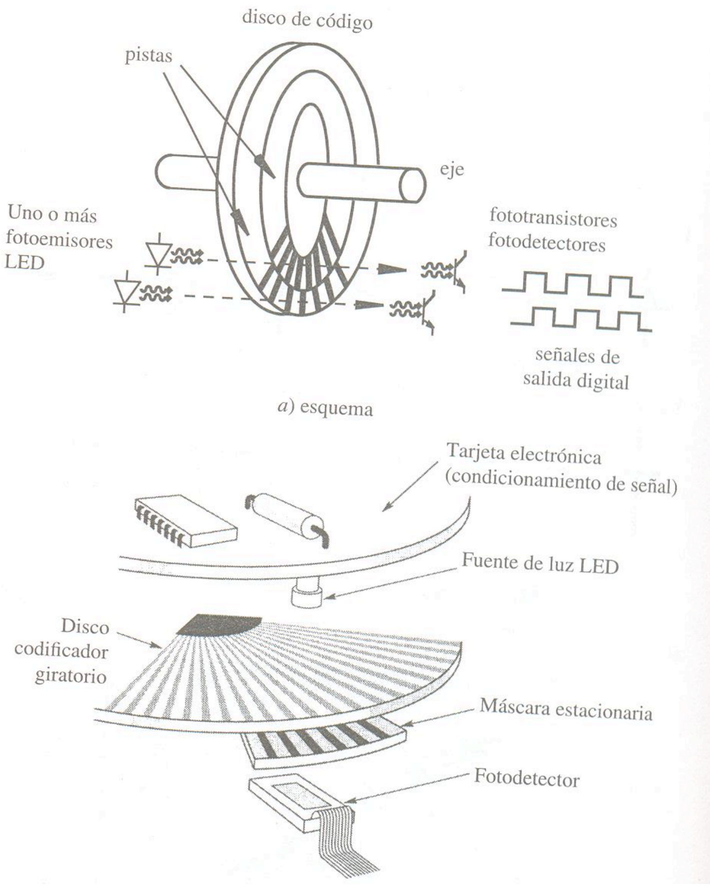




Codificador óptico digital.Encoder

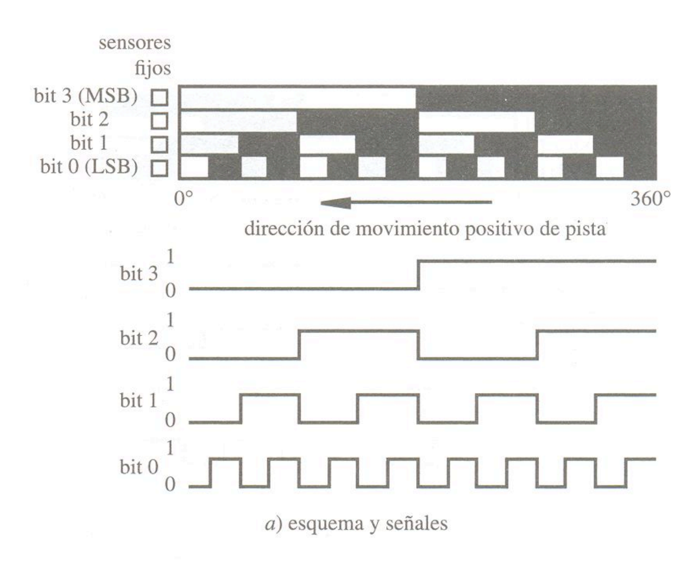
- Dispositivo que convierte movimiento en una secuencia de pulsos digitales.



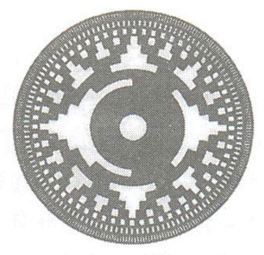


2-3-1-0
1-3-2-0

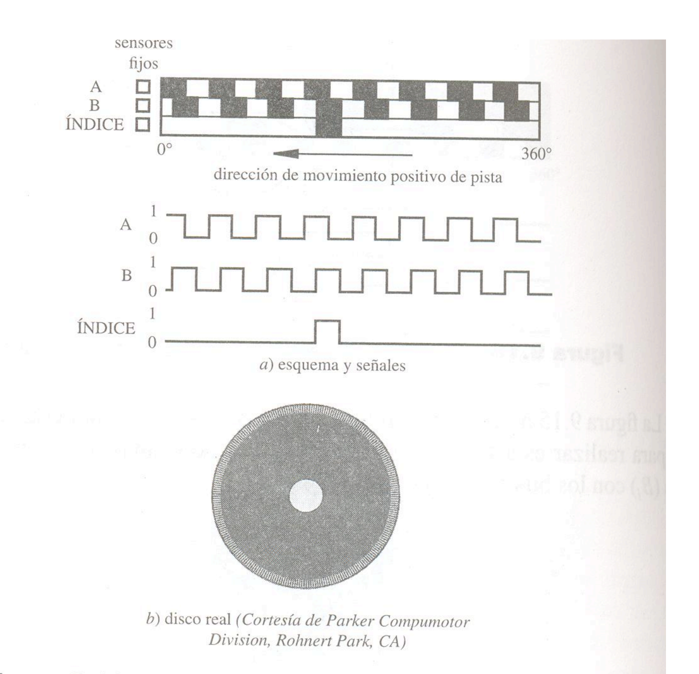
Video



a) esquema y señales



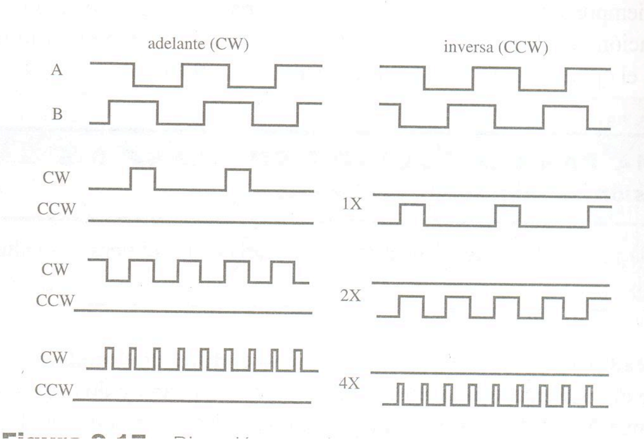
b) disco real *(Cortesía de Parker Compumotor Division, Rohnert Park, CA)*



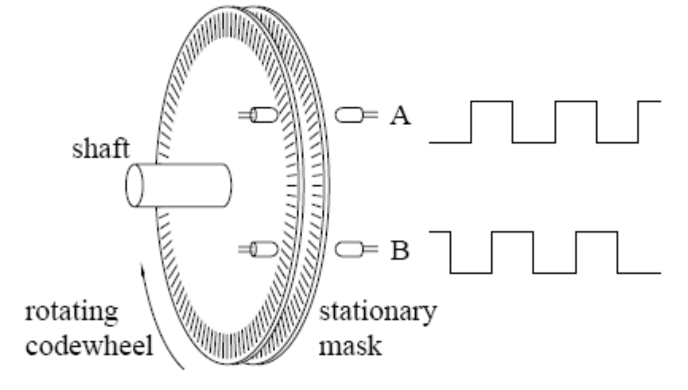
a) esquema y señales

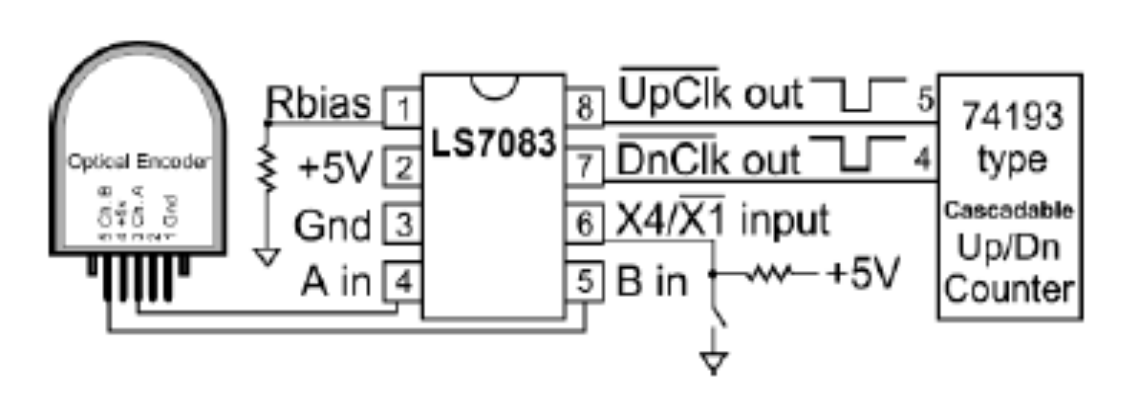
b) disco real *(Cortesía de Parker Compumotor Division, Rohnert Park, CA)*

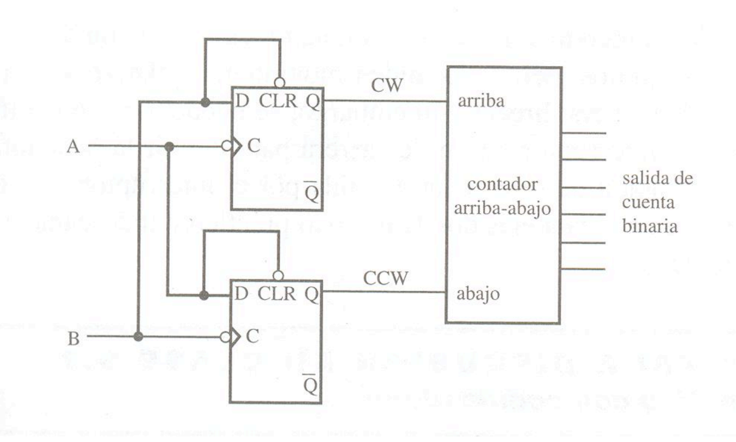
Figura 9.16 Patrones de pista de disco codificador incremental.

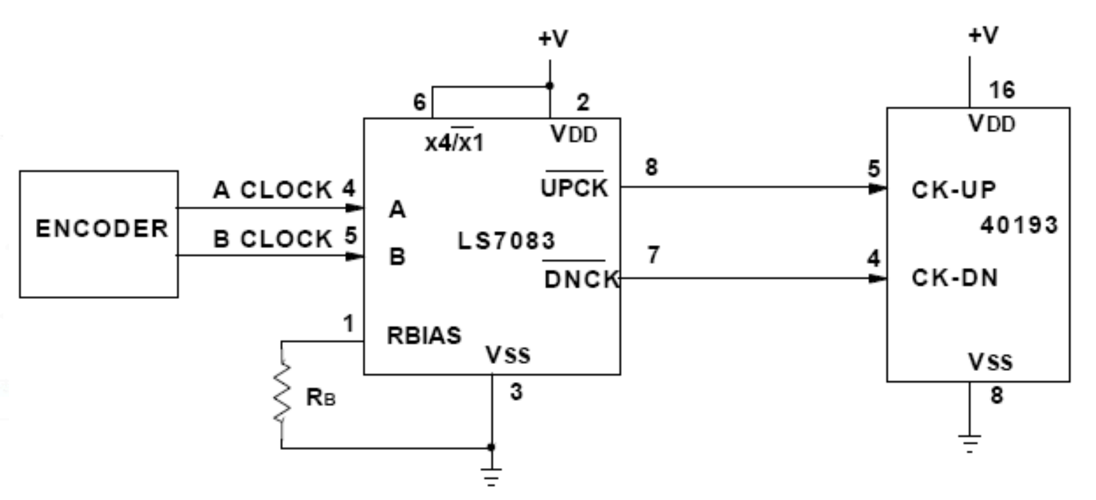


Codificador óptico digital.Encoder





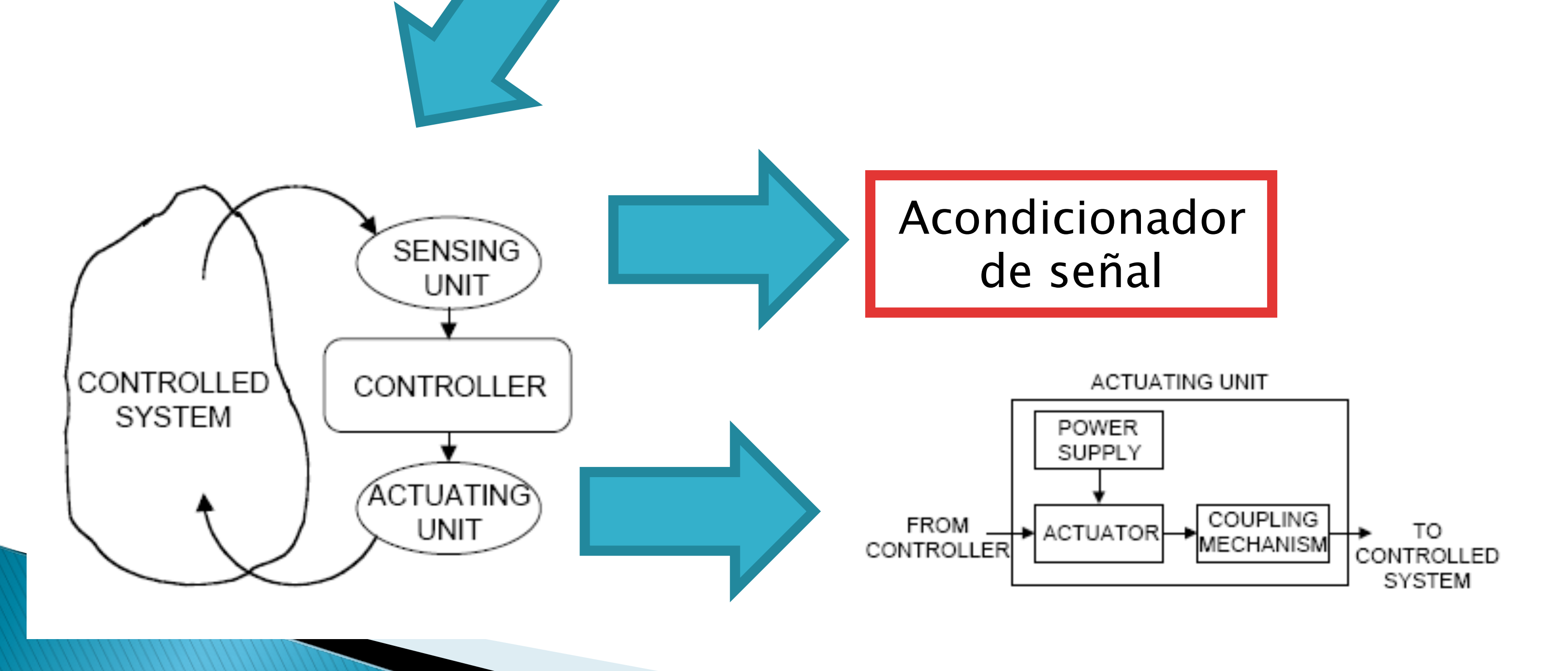




Video ejemplo.
Demostración encoder LabVIEW

Criterios de selección.

Range—Difference between the maximum and minimum value of the sensed parameter
Resolution—The smallest change the sensor can differentiate
Accuracy—Difference between the measured value and the true value
Precision—Ability to reproduce repeatedly with a given accuracy
Sensitivity—Ratio of change in output to a unit change of the input
Zero offset—A nonzero value output for no input
Linearity—Percentage of deviation from the best-fit linear calibration curve
Zero Drift—The departure of output from zero value over a period of time for no input
Response time—The time lag between the input and output
Bandwidth—Frequency at which the output magnitude drops by 3 dB
Resonance—The frequency at which the output magnitude peak occurs
Operating temperature—The range in which the sensor performs as specified
Deadband—The range of input for which there is no output
Signal-to-noise ratio—Ratio between the magnitudes of the signal and the noise at the output



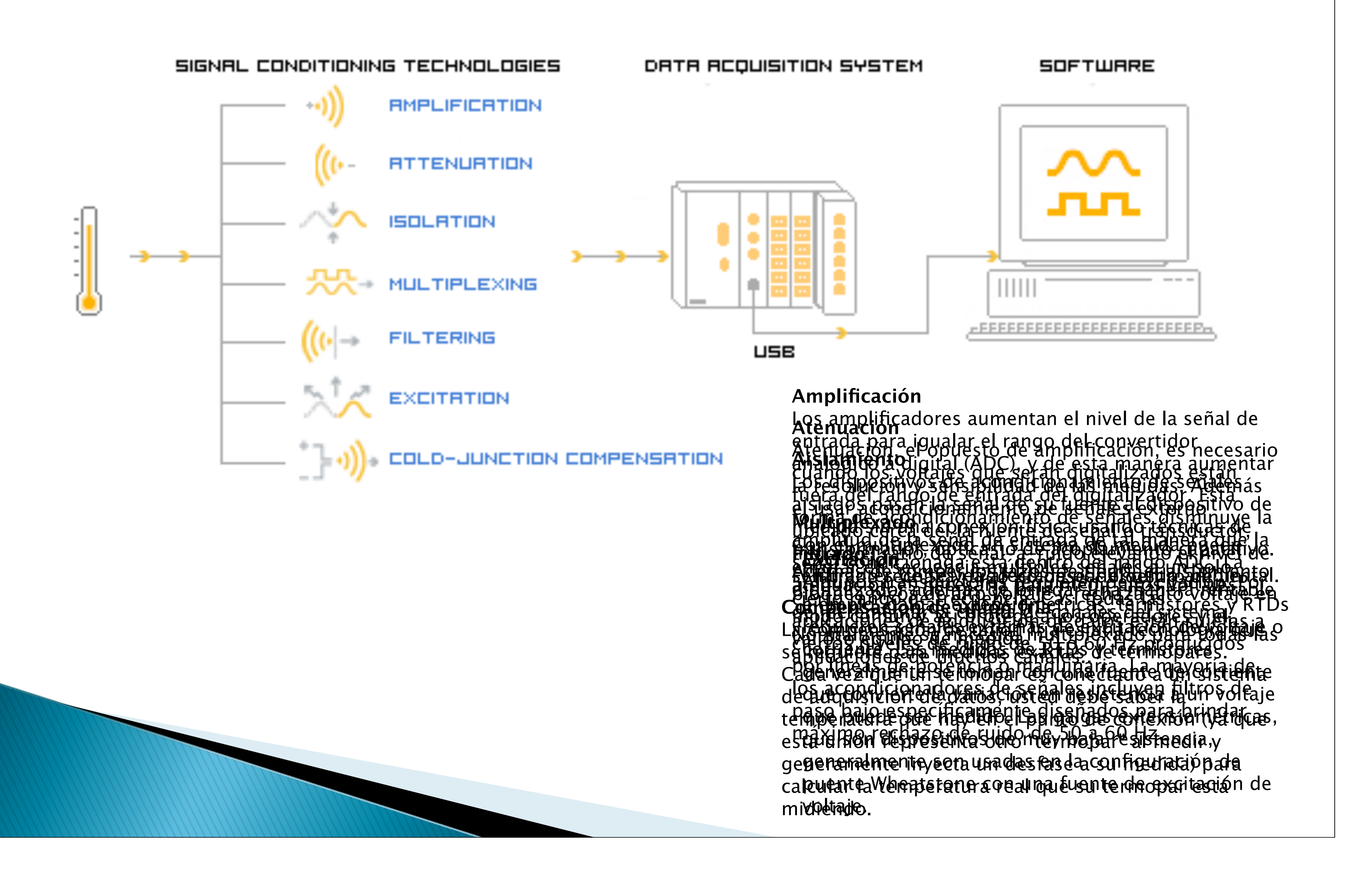
Práctica No.1

- Diseñar un encoder incremental con cuadratura 1X con una resolución de al menos 5°, mostrando el incremento y decremento de la posición un display. (LCD-7segmentos).
- Entregar plano informativo del disco-bujes, etc.

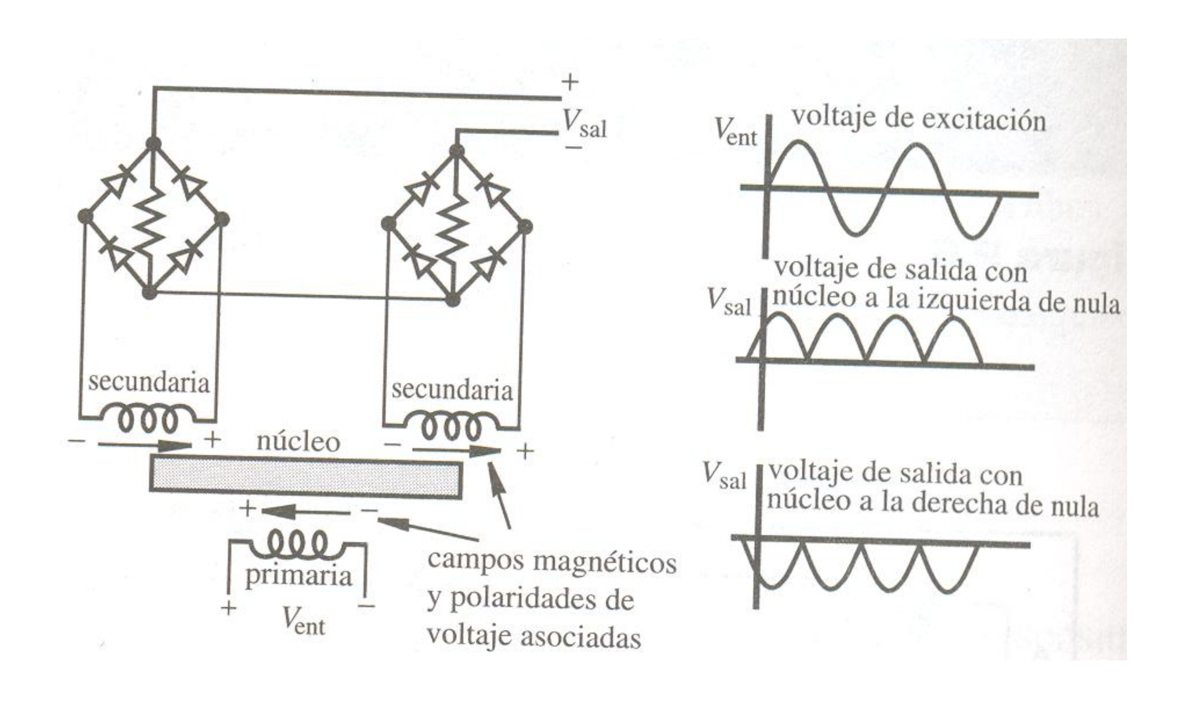
  Conseguir dos motores de DC iguales para realizar un levantamiento del sistema mecánico.
- Planos de ensamble del sensor/cable/soporte.
- Diagrama eléctrico del circuito (software).

Acondicionamiento de señal.

Acondicionamiento de señal.

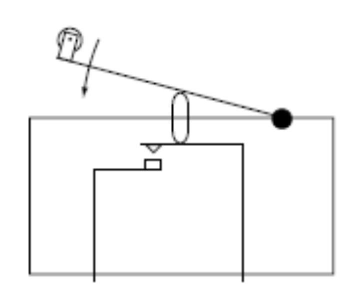


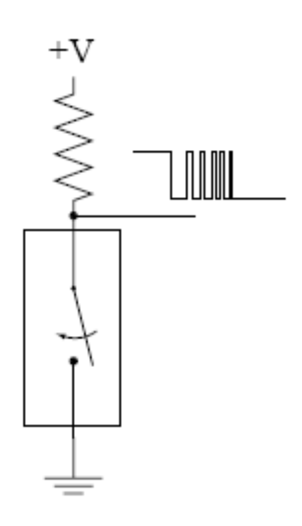
Acondicionador de señal para un LVDT



Filtro pasobajas

Acondicionador de señal para un interruptor mecánico.

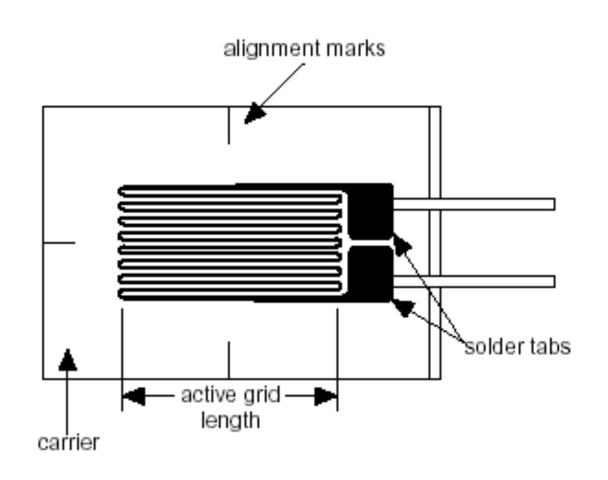




Ejemplo:

- Cual sería el mejor acondicionador de señal para una celda de carga (strain gauge) con resistencia nominal de 3000 Ohms y quiere ser conectado al DAC de un microcontrolador el cual puede realizar conversiones de 0-5 Volts.

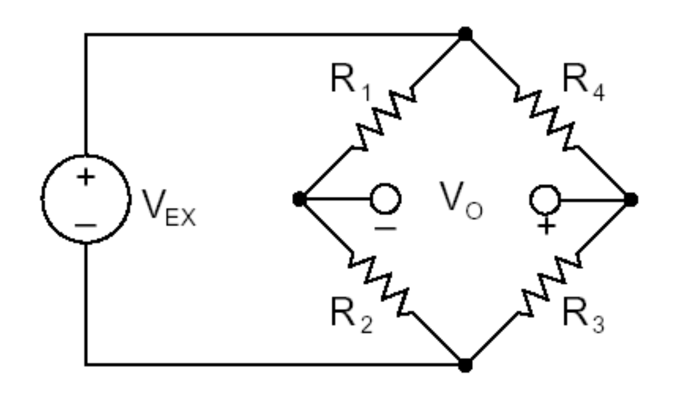
- Strain Gauges, son dispositivos semiconductores en los cuales la resistencia varia con la deformación.

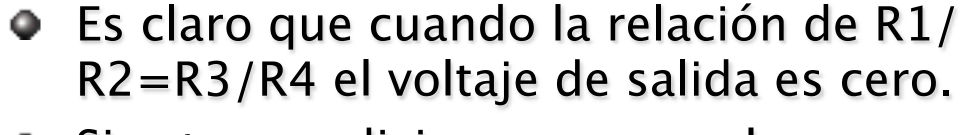


$$GF = (\Delta R/R)/(\Delta L/L) = (\Delta R/R)/\varepsilon$$

El factor de medida GF para los Straing Gauges más comunes, es de GF=2.

$$V_O = \left[\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2}\right] \bullet V_{EX}$$



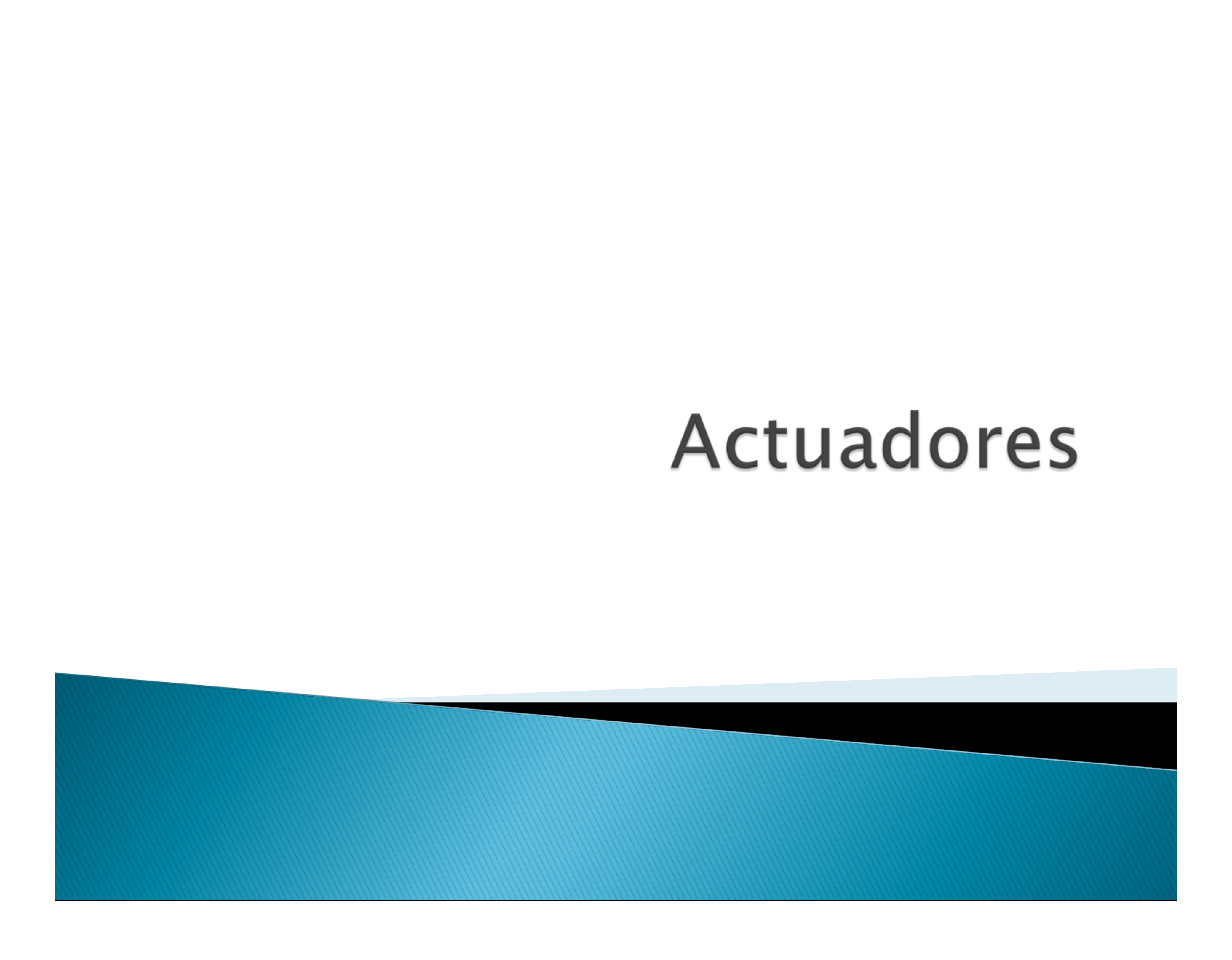


- Es claro que cuando la relación de R1/R2=R3/R4 el voltaje de salida es cero.

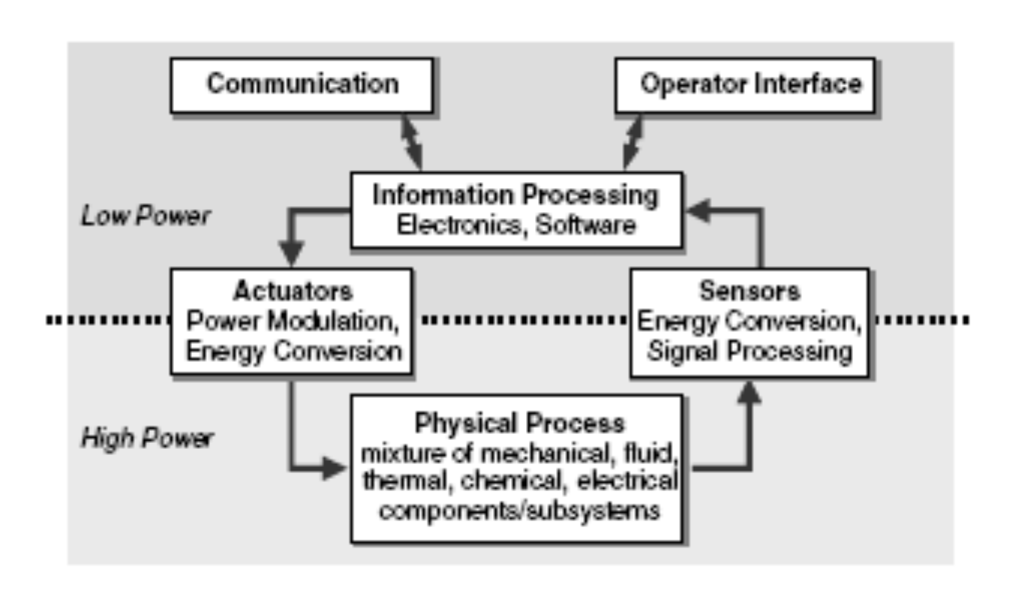


- Si estas condiciones se cumplen se dice que el puente esta **balanceado.**
- Cualquier cambio en alguna de las resistencias provocara un voltaje diferente de cero en las terminales del puente.

¿ Y después del puente?


Actuadores

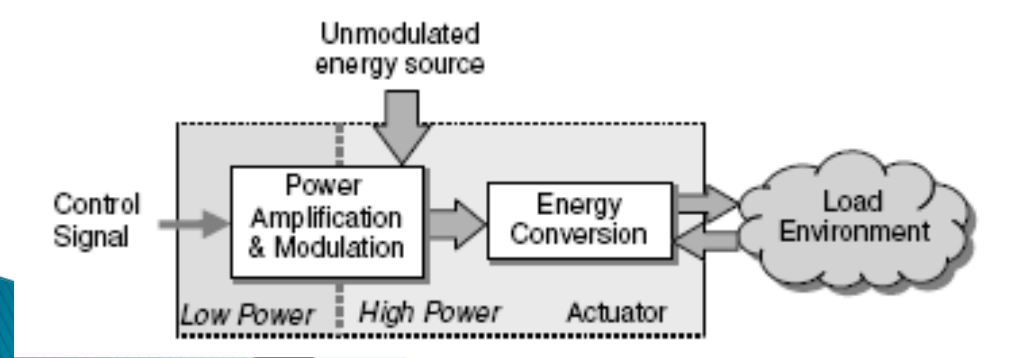
Actuadores

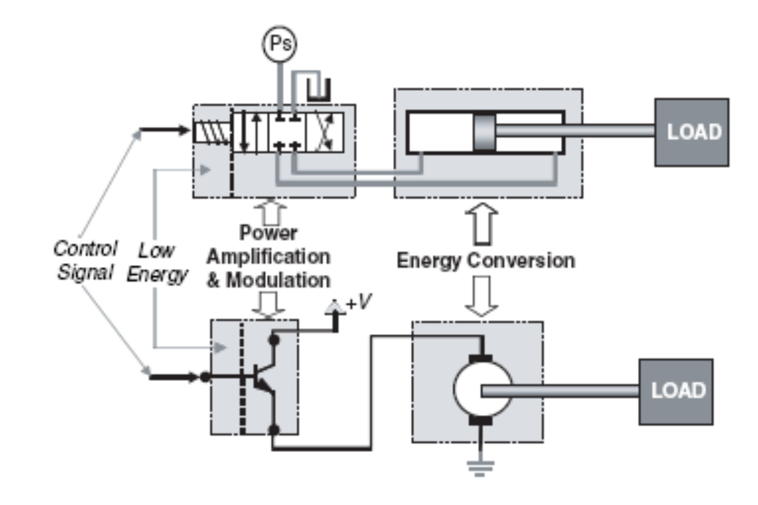


Sistema Mecatrónico

Actuadores

Diagrama funcional del actuador





Motores eléctricos.

- Clasificación.

Motores de DC

- Se usan en gran cantidad de diseños mecatrónicos debido a las características torque-velocidad que se pueden lograr con diferentes configuraciones eléctricas.
- Imán permanente
- Devanado Shunt
- Devanado en serie
- Devanado compuesto.

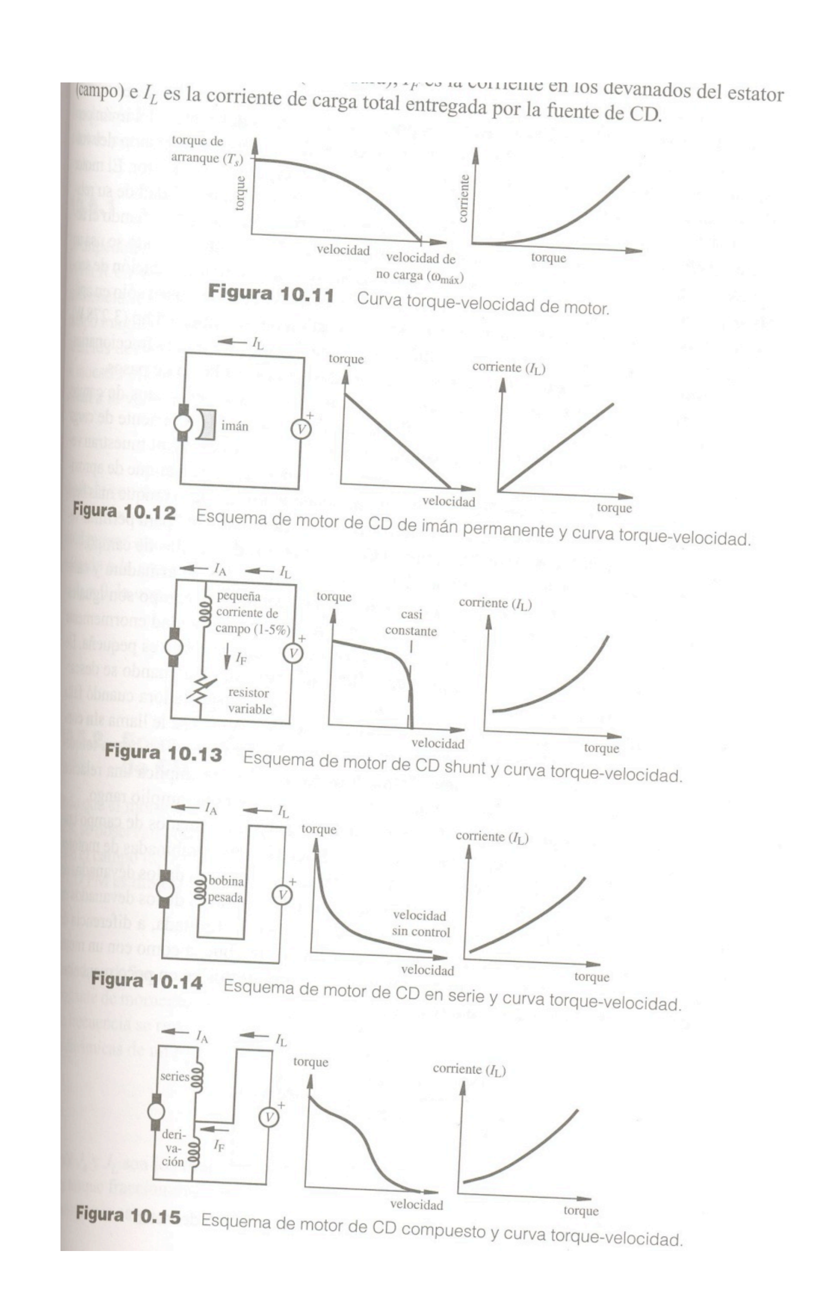


Figura 10.11 Curva torque-velocidad de motor.

Figura 10.12 Esquema de motor de CD de imán permanente y curva torque-velocidad.

Figura 10.13 Esquema de motor de CD shunt y curva torque-velocidad.

Figura 10.14 Esquema de motor de CD en serie y curva torque-velocidad.

Figura 10.15 Esquema de motor de CD compuesto y curva torque-velocidad.

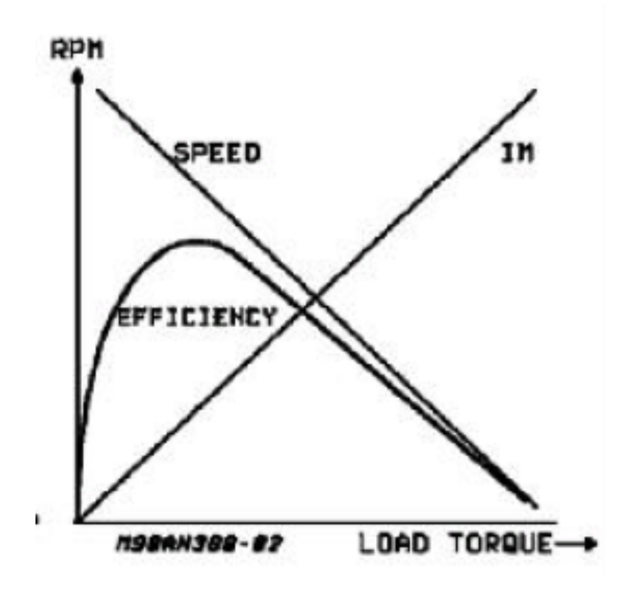
Para un motor de DC

- **Tm=Kt*Im**

Tm: torque del motor
Im: corriente en el motor
Ka: constante de torque

- **Vm=Ka*ωm**

Vm: voltaje en el motor
ωm: velocidad angular del motor
Ka: constante eléctrica del motor



Ejemplo:

- Dadas las siguientes especificaciones del fabricante de un motor de DC ¿ Cuál es la velocidad nominal, la corriente crítica, el torque de nominal y la potencia máxima del motor para un voltaje aplicado de 10 V?

- Constante de torque= 0.12 Nm/A
- Constante eléctrica = 12V/1000 rpm
- Resistencia de armadura=1.5 Ohms

Selección de un motor.

- ¿El motor se arrancará y acelerará los suficientemente rápido?

  α=(Tmotor-Tcarga)/J
- ¿Cuál es la máxima velocidad que puede producir el motor?
- ¿Cuál es el ciclo de trabajo operativo?
- Ton/Toff
- ¿Cuánta potencia requiere la carga?
- ¿Qué fuentes de potencia esta disponible? CA,CD
- ¿Cuál es la inercia de carga?
- ¿La carga se impulsará a velocidad constante?
- ¿Se requiere control preciso de posición ó velocidad?
- ¿Se requiere una transmisión o engranaje? Motorreductor
- ¿Es necesario invertir el motor?
- ¿Existen restricciones de tamaño y peso?
- ¿Costo?

Tarea No. 2:

- Para cada una de las siguientes aplicaciones ¿Cuál sería una buena elección de un motor eléctrico? Justifique su elección contestando de ser posible las preguntas anteriores.
  - Articulación de brazo robótico para la colocación de chasis en una línea de producción de vehículos.
  - Ventilador doméstico de techo
  - Carretilla eléctrica (construcción)
  - Sierra circular (carpintería)
  - Fresador universal CNC
  - Grúa eléctrica (2 Toneladas)
  - Actuador de cabeza disco duro
  - Limpiaparabrisas de vehículo
  - Motor banda transportadora industrial para botellas de refresco.
  - Lavadora de ropa (con aspas de agitación).

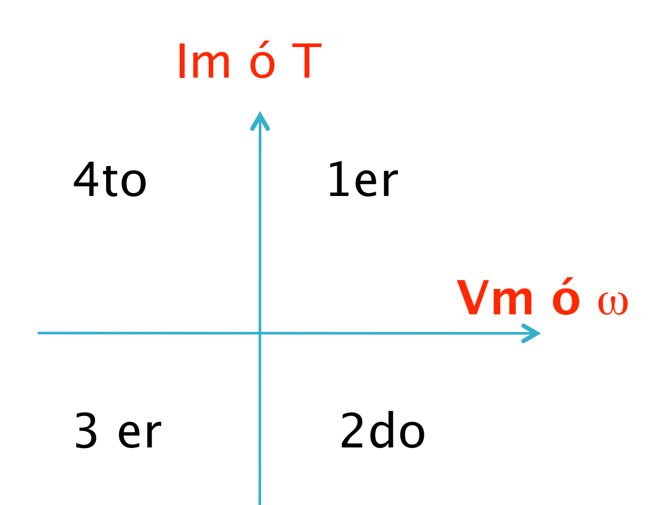
Control de un motor

Luego en un motor de DC puede actuarse sobre dos parámetros:

a) Variar la corriente para modificar el par. (Control de corriente). La corriente por el motor determina el par que éste produce. Cuando el motor no realiza un trabajo útil o no debe vencer un rozamiento, un aumento/disminución de la corriente se traduce en una aceleración o desaceleración del motor, independiente de la velocidad con la que se encuentre girando.

b) Modificar la tensión, dado un par, para variar la velocidad del motor. (Control de tensión). Como la corriente por el motor viene determinada por la suma de pares que debe vencer, un aumento/disminución de la tensión aplicada al motor se traduce en un aumento/disminución de la velocidad de giro del mismo.

Modos de funcionamiento de un motor de D.C.



* Primer cuadrante: Tanto la tensión del motor, como la corriente que lo atraviesa son positivas, esto es, la energía fluye de la batería al motor.

* Segundo cuadrante: La tensión del motor es positiva, pero la corriente es negativa, esto es, la energía fluye del motor a la batería (funcionamiento regenerativo).

* Tercer cuadrante: Tanto la tensión como la corriente del motor son negativas. En este caso la batería entrega energía la motor, pero el motor gira en sentido contrario al caso del primer cuadrante.

.

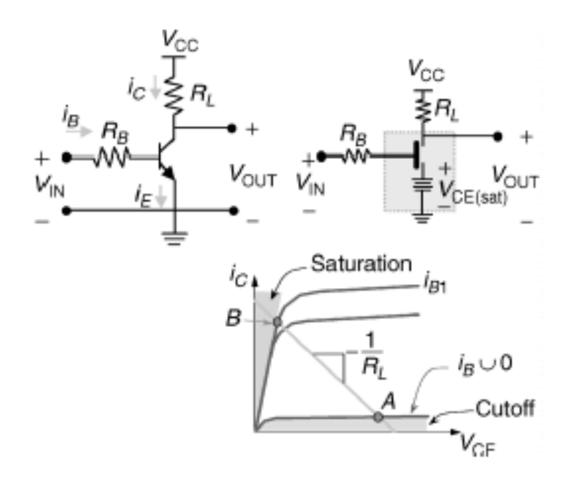
* Cuarto cuadrante: La tensión del motor es negativa y la corriente positiva. La energía fluye del motor a la batería.

Etapas de potencia

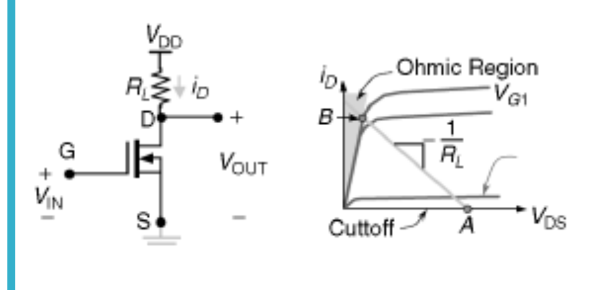
Acondicionadores de salida.

Amplificadores Básicos

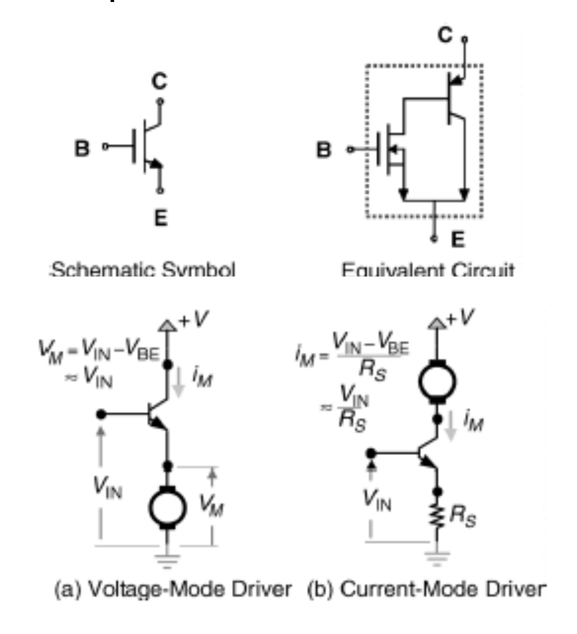
TBJ



FET



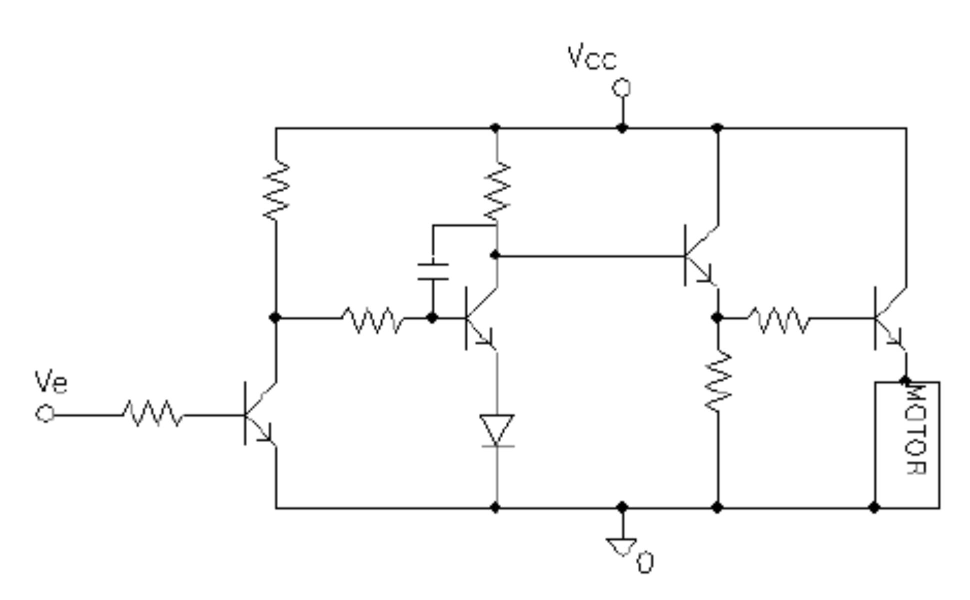
IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor



El IGBT es adecuado para velocidades de conmutación de hasta 20 KHz y ha sustituido al BJT en muchas aplicaciones. Es usado en aplicaciones de altas y medias energía como fuente conmutada, control de la tracción en motores .

Circuitos excitadores para motores.

Tipos de amplificadores lineales:



a) **Amplificadores de potencia clase A:** son útiles para motores que sólo funcionan en un cuadrante. Suelen componerse de varias etapas diseñadas con transistores, unas para amplificar en tensión y otras en corriente (fig 3) .

Circuitos excitadores para motores.

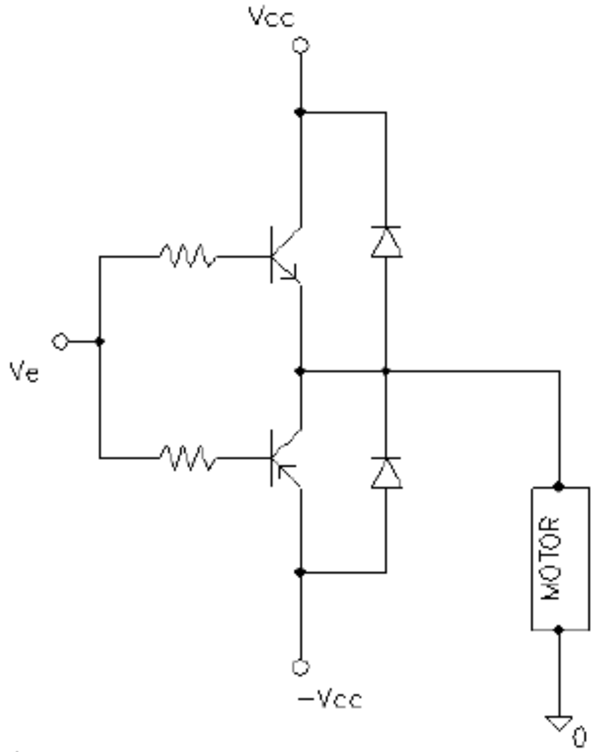
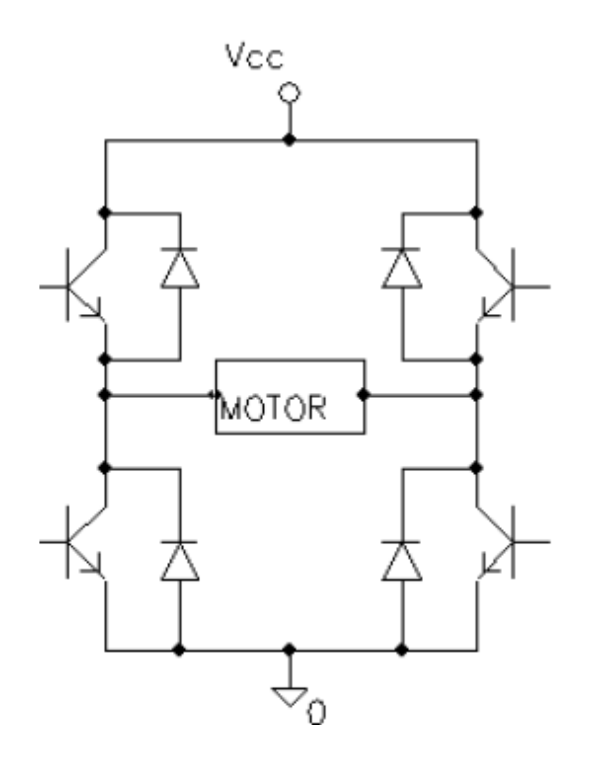


Fig. 4. Amplificador en T.

b) Amplificadores de potencia clase AB, también denominada configuración en T (fig 4) . Permiten excitar un motor en los cuatro cuadrantes, aunque requieren alimentación simétrica y transistores complementarios. Sin embargo, en esta configuración es muy sencillo medir la corriente y tensión en los extremos del motor, que suelen necesitarse para completar el lazo de realimentación. Por otro lado, es necesario prestar especial atención a algunos de los riesgos que conlleva esta configuración:

* Conducción simultánea de los dos transistores, debido a desequilibrios entre los transistores o al circuito de prepolarización. Esta circunstancia puede degenerar en un cortocircuito entre las dos fuentes de alimentación.

Circuitos excitadores para motores.



c) Amplificador en H o etapa de salida en puente. Esta configuración requiere de una única fuente de alimentación para excitar al motor en los cuatro cuadrantes.

Sin embargo, también presenta ciertos problemas:

* Necesita 4 transistores, aunque todos del mismo tipo.

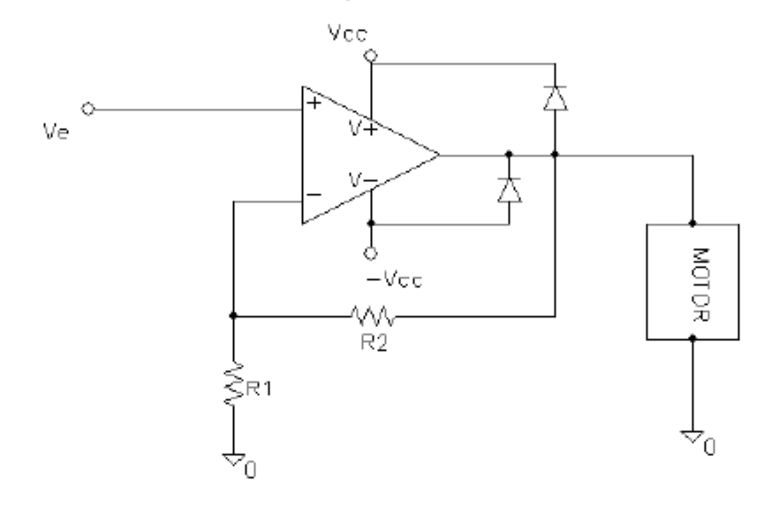
* Como el motor está flotante (sin ningún terminal a masa) es difícil medir la tensión y corriente que circulan por él.

Circuitos excitadores para motores.

Amplificadores operacionales

Esta alternativa para la excitación lineal de motores, presenta la ventaja del empleo de circuitos integrados, lo que conlleva circuitos más fáciles de montar y diseñar. Sin embargo su uso está limitado a aplicaciones donde las potencias manejadas no superen los 100 w.

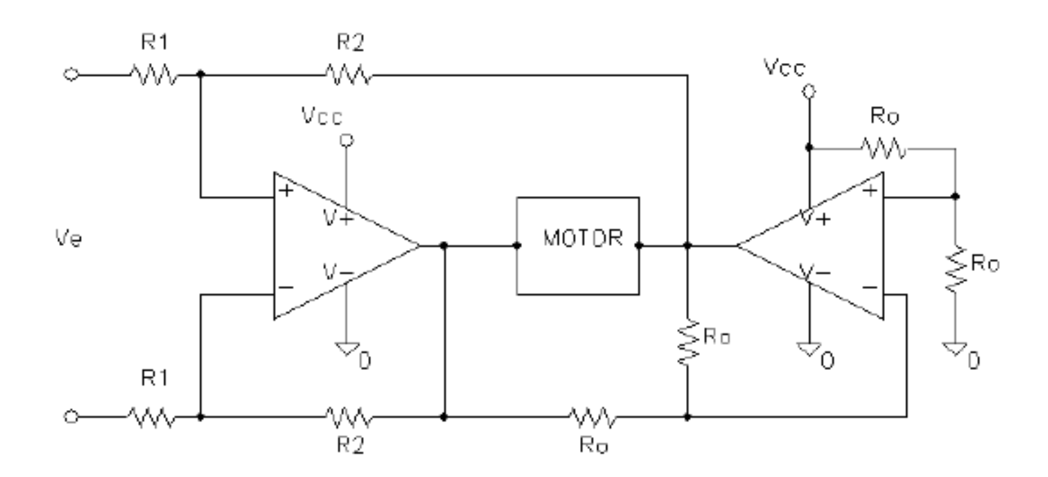
d.1) Control por tensión. Estos circuitos permiten trabajar en los cuatro cuadrantes, requiriendo una o dos fuentes de alimentación, según la configuración. La corriente en la carga es variable según las exigencias del motor y su carga asociada, con un valor máximo determinado por el A.O.



Circuitos excitadores para motores.

Amplificadores operacionales

* Con alimentación única. Según cómo se establezca el sentido de giro del motor, pueden distinguirse dos tipos de circuitos de excitación, a saber, con dos entradas, una para módulo y otra para signo, o con una única entrada que lleva implícito el sentido de giro (tensiones positivas, un sentido de giro y tensiones negativas, el otro).



Circuitos excitadores para motores.

Amplificadores operacionales

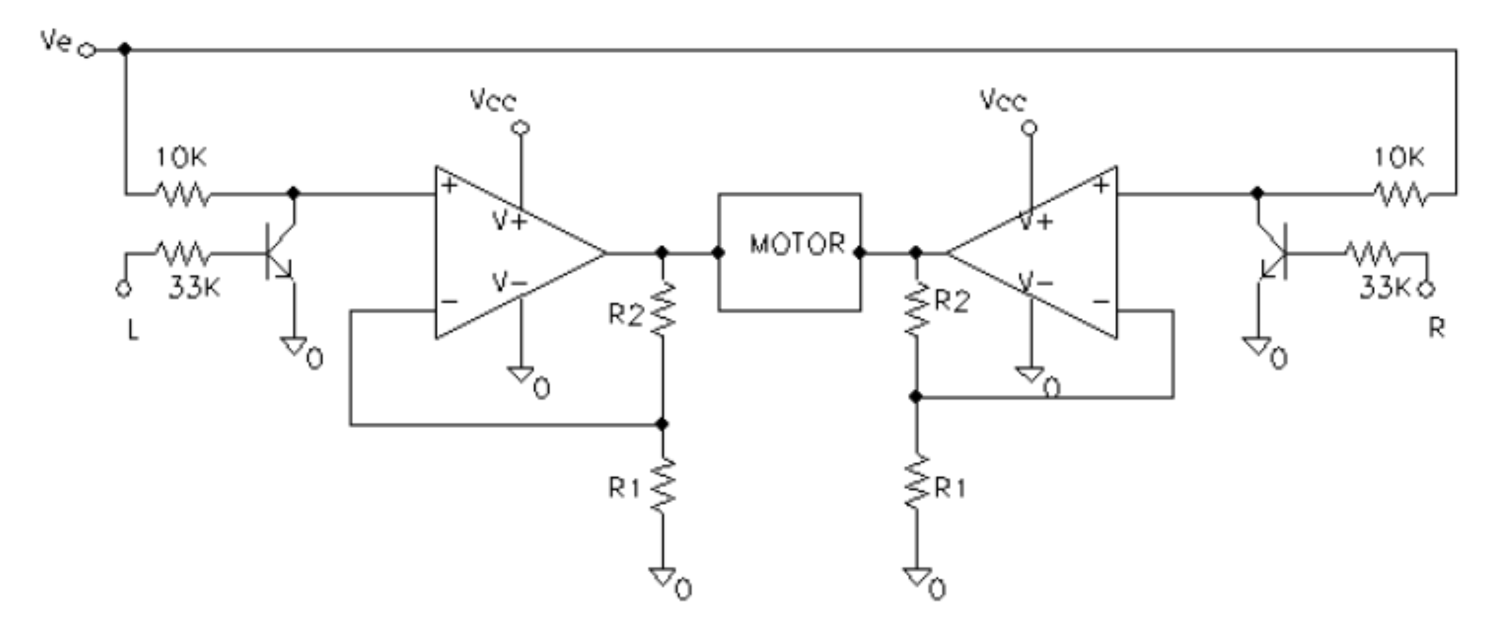
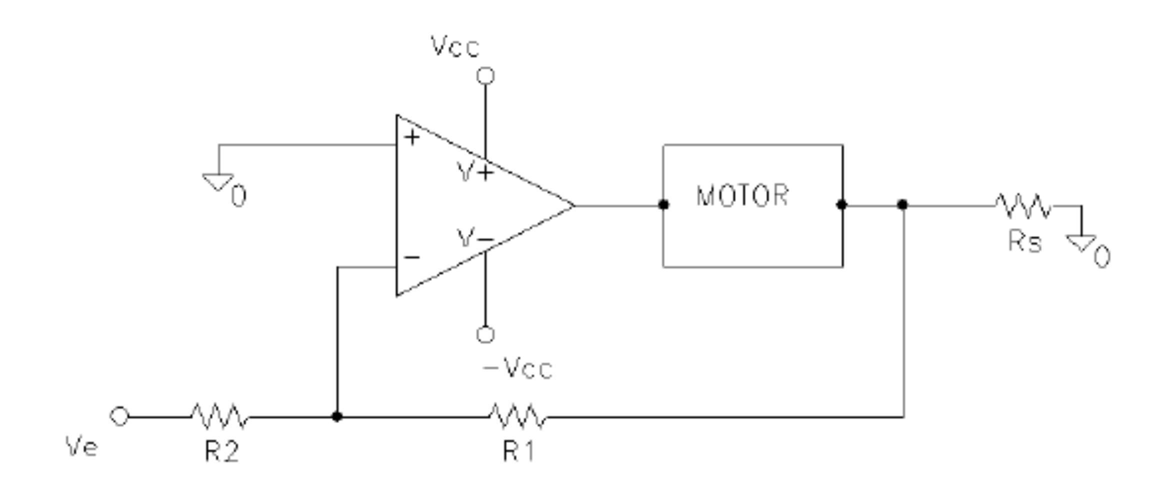


Fig. 8. Control por tensión de un motor DC, con entrada para módulo y sentido de giro.

Circuitos excitadores para motores.

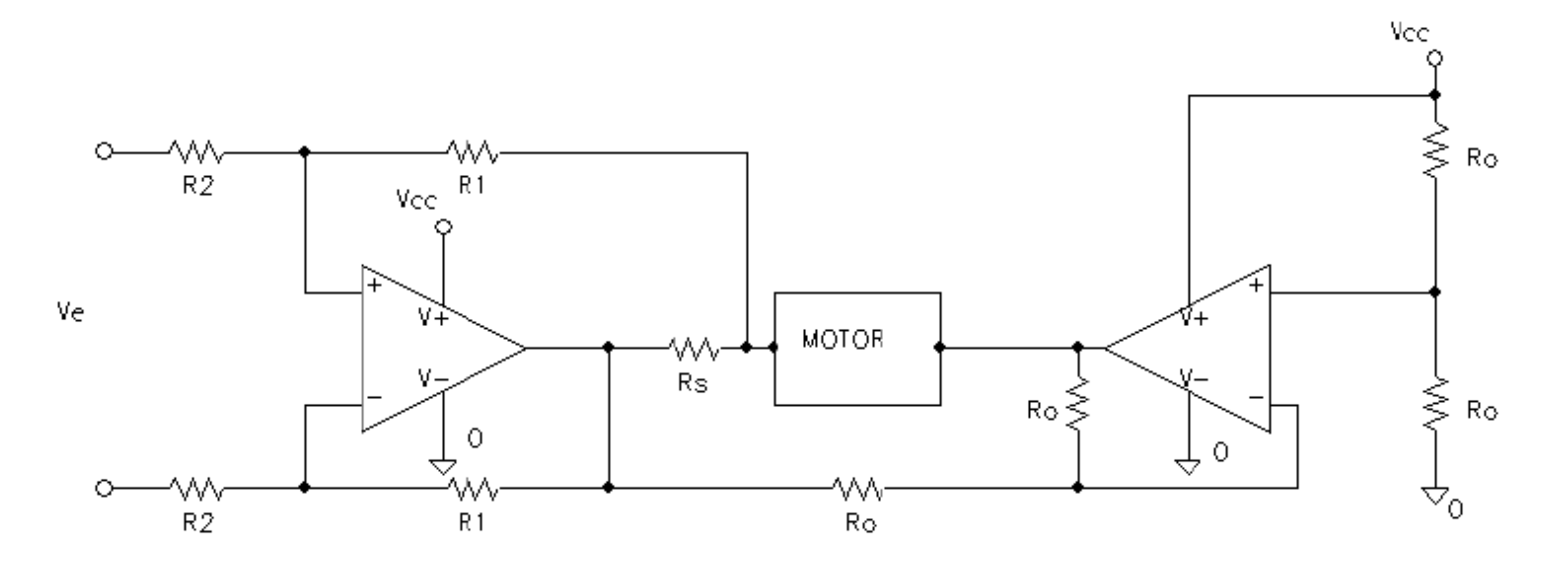
Amplificadores operacionales para amplificar corriente con fuente dual.



$$I_m = -\frac{R1}{Rs \bullet R2} V_e$$

Circuitos excitadores para motores.

<u>Amplificadores operacionales para amplificar corriente con una sola fuente.</u>



$$I_m = -\frac{R1}{Rs \bullet R2} V_e$$

Métodos para variar el nivel de voltaje.

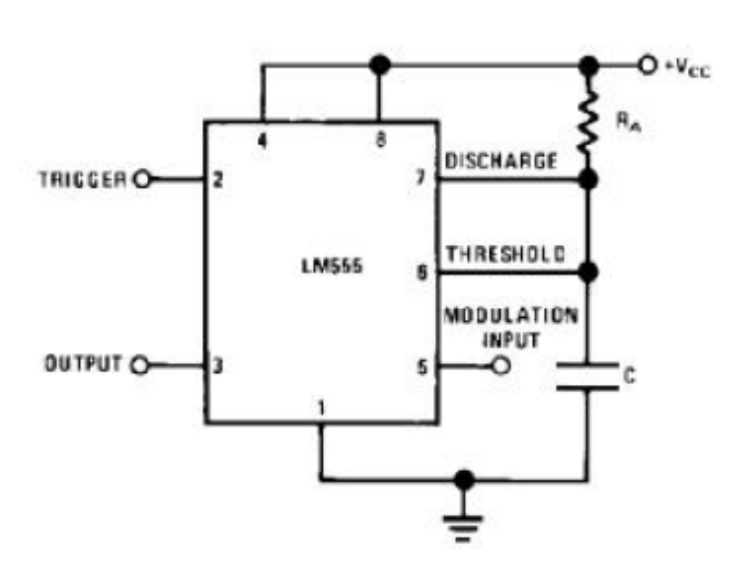
a) Variar la frecuencia de la señal de excitación: PFM (Modulación de pulsos en frecuencia). Esta técnica presenta problemas de disipación de potencia.

b) Variar el ciclo de trabajo de la señal de excitación: PWM(Modulación de pulsos en anchura). Es la técnica más empleada, teniendo en cuenta que la frecuencia de la señal debe cumplir ciertos requisitos:

- $T < \frac{\tau_{motor}}{10}$: el periodo de la señal debe al menos diez veces menor que la constante de tiempo del motor, de modo que éste no pueda seguir los cambios de la señal PWM y siga al valor medio de la misma.
- T> t_{resp} de los dispositivos en conmutación: como los dispositivos activos deben conmutar de conducción a corte y viceversa, debe elegirse T de modo que se permita la conmutación. Si no se cumple con esta condición los dispositivos se encontrarían continuamente en la fase de conmutación.
- Evitar ruido audible. T< 50 µs. La señal de PWM puede descomponerse en infinitas componentes de frecuencia, algunas de las cuales pueden ser molestas al oído humano. Para evitarlo, deben elegirse frecuencias por encima del rango audible.

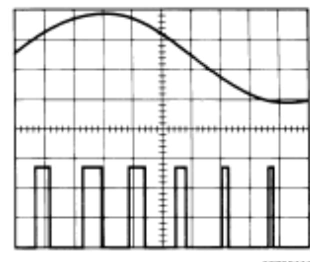
Circuitos para generar una señal de PWM.

- Técnica tradicional. Rampa-Comparador
- Generador de PWM.



PULSE WIDTH MODULATOR

When the timer is connected in the monostable mode and triggered with a continuous pulse train, the output pulse width can be modulated by a signal applied to pin 5. *Figure 8* shows the circuit, and in *Figure 9* are some waveform examples.



00785113

V_{CC} = 5V   Top Trace: Modulation 1V/Div.

TIME = 0.2 ms/DIV.   Bottom Trace: Output Voltage 2V/Div.

R_A = 9.1kΩ

C = 0.01μF

Práctica No. 2

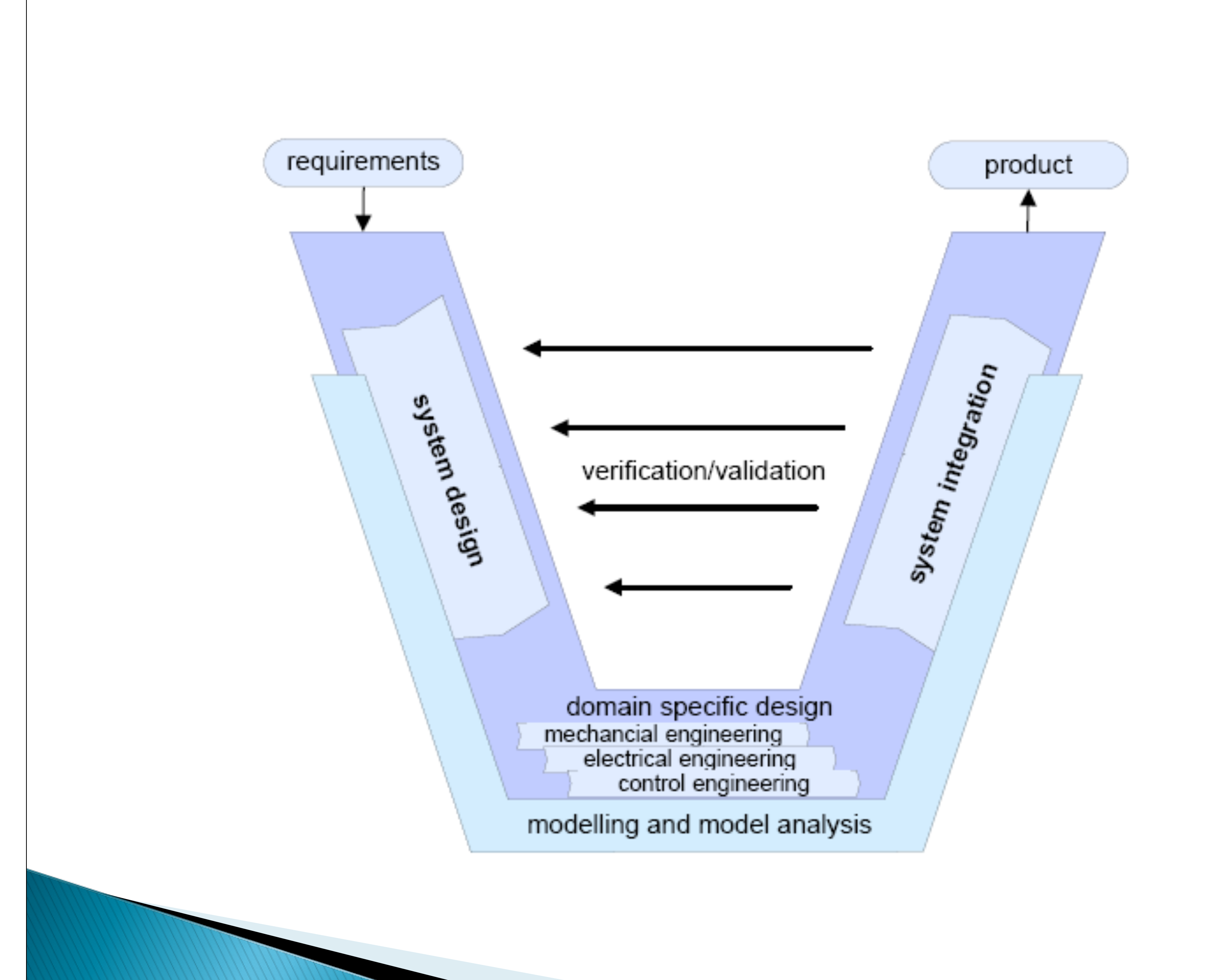
- Realizar un circuito PWM (0–100%) y una etapa de potencia para variar la velocidad de un motor de DC.
- Acoplar el encoder realizado en la práctica No.1.
- Entregar: Circuito funcionando, diagramas de conexión y planos del motor–soporte–encoder.

Convertidores

DAC y ADC.



- Sueña, construye y disfruta.



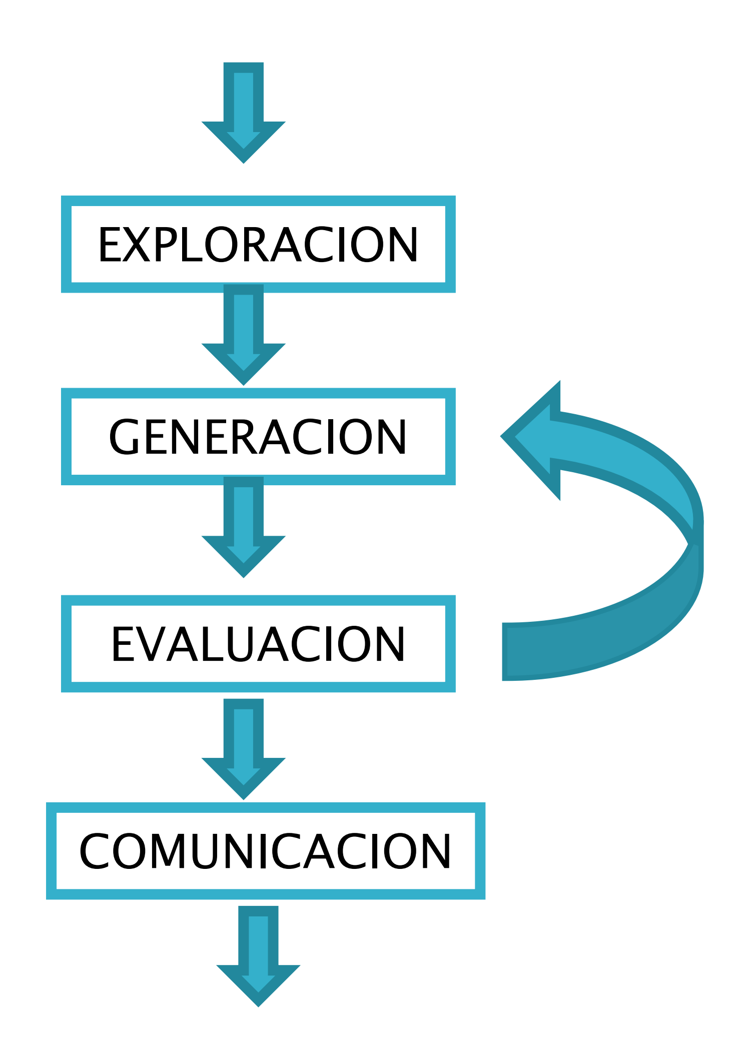
requirements
product
system design
system integration
verification/validation
domain specific design
mechancial engineering
electrical engineering
control engineering
modelling and model analysis

Comunicación de los diseños (bitácoras de diseño).

- La actividad esencial del diseño es la producción de una descripción final del artefacto.

- Realizar dibujos.
- Anotaciones adicionales.
- Lista de partes y/o componentes.

Modelo sencillo de cuatro etapas de diseño.

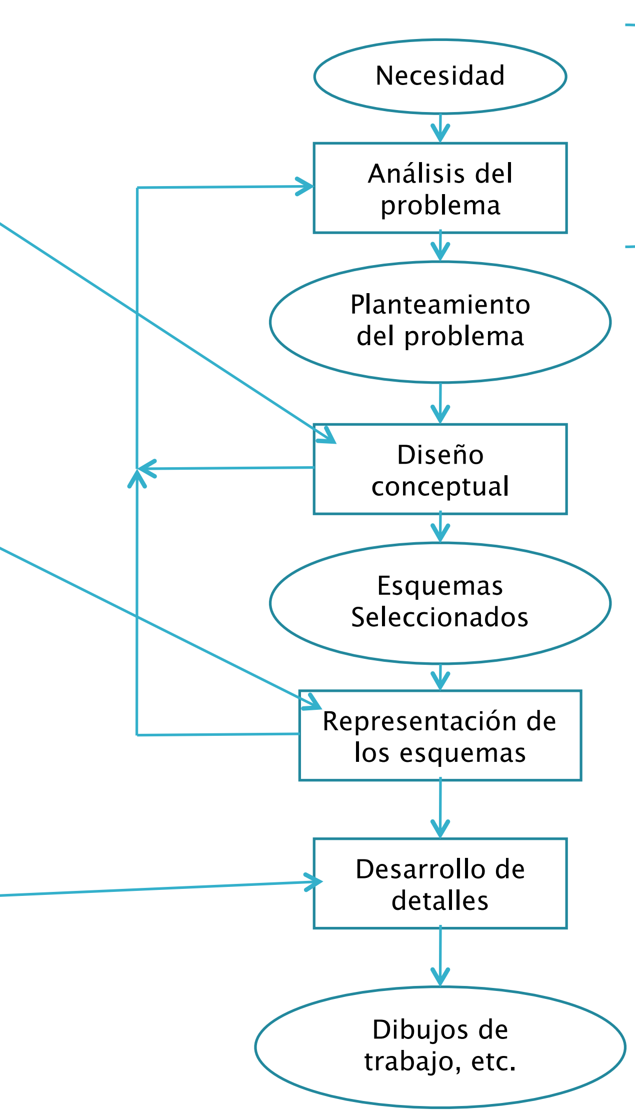


Modelo de French del proceso de diseño.

Diseño conceptual: Genera soluciones amplias, en forma de esquemas. Fase donde se conjuntas las ciencias de la ingeniería, el conocimiento práctico y es donde se toman las decisiones mas importantes.

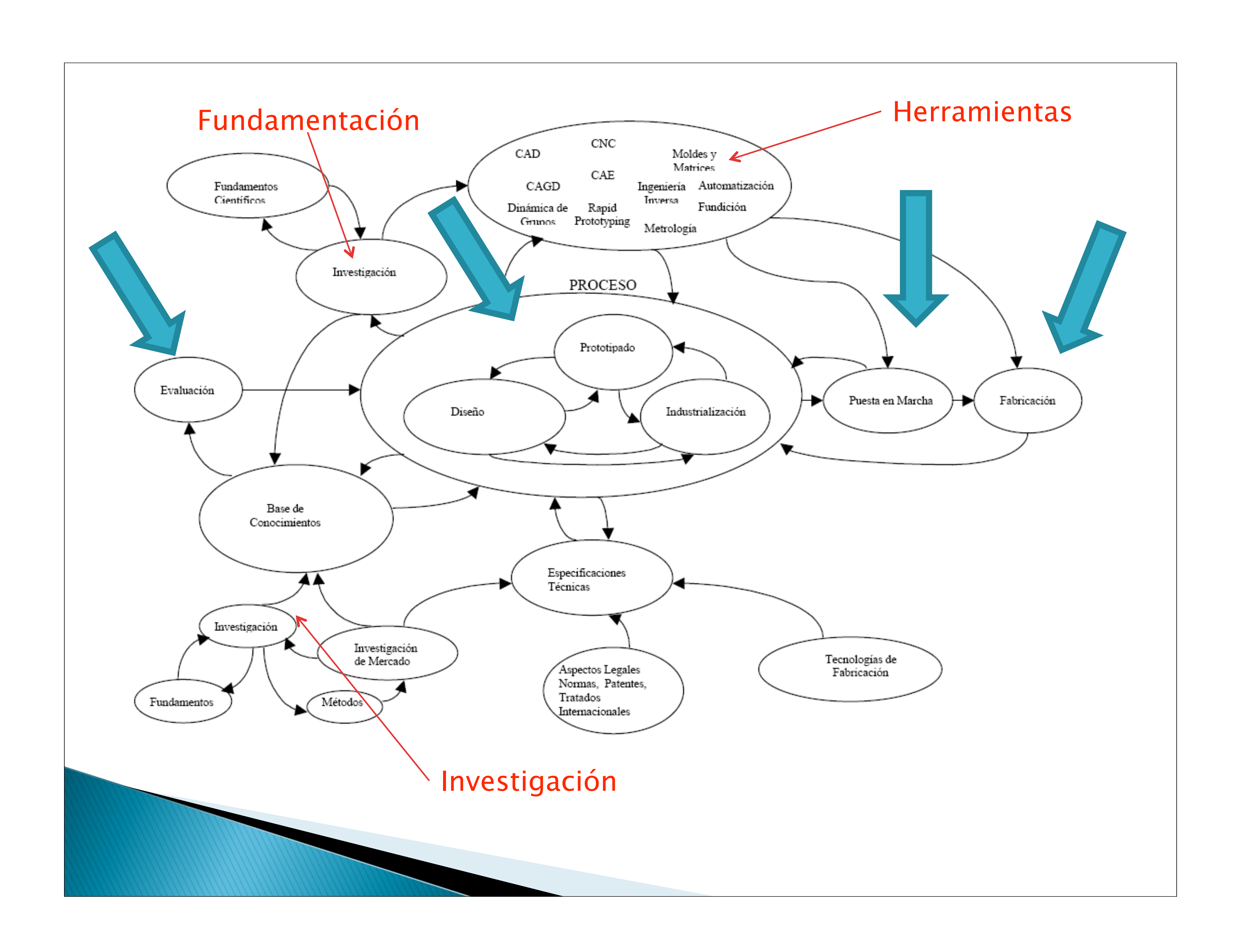
Dar forma a los esquemas: Se trabajan con mas detalle, y se realiza una selección en caso de que haya más de uno. El producto es un conjunto de dibujos del sistema general.

Desarrollo de detalles: Ultima fase donde quedan por decidir muchos puntos pero importantes. Demanda mucha habilidad y paciencia.



En análisis del problema es una parte pequeña pero importante del proceso global. El resultado es un planteamiento del problema, y éste puede tener tres elementos:

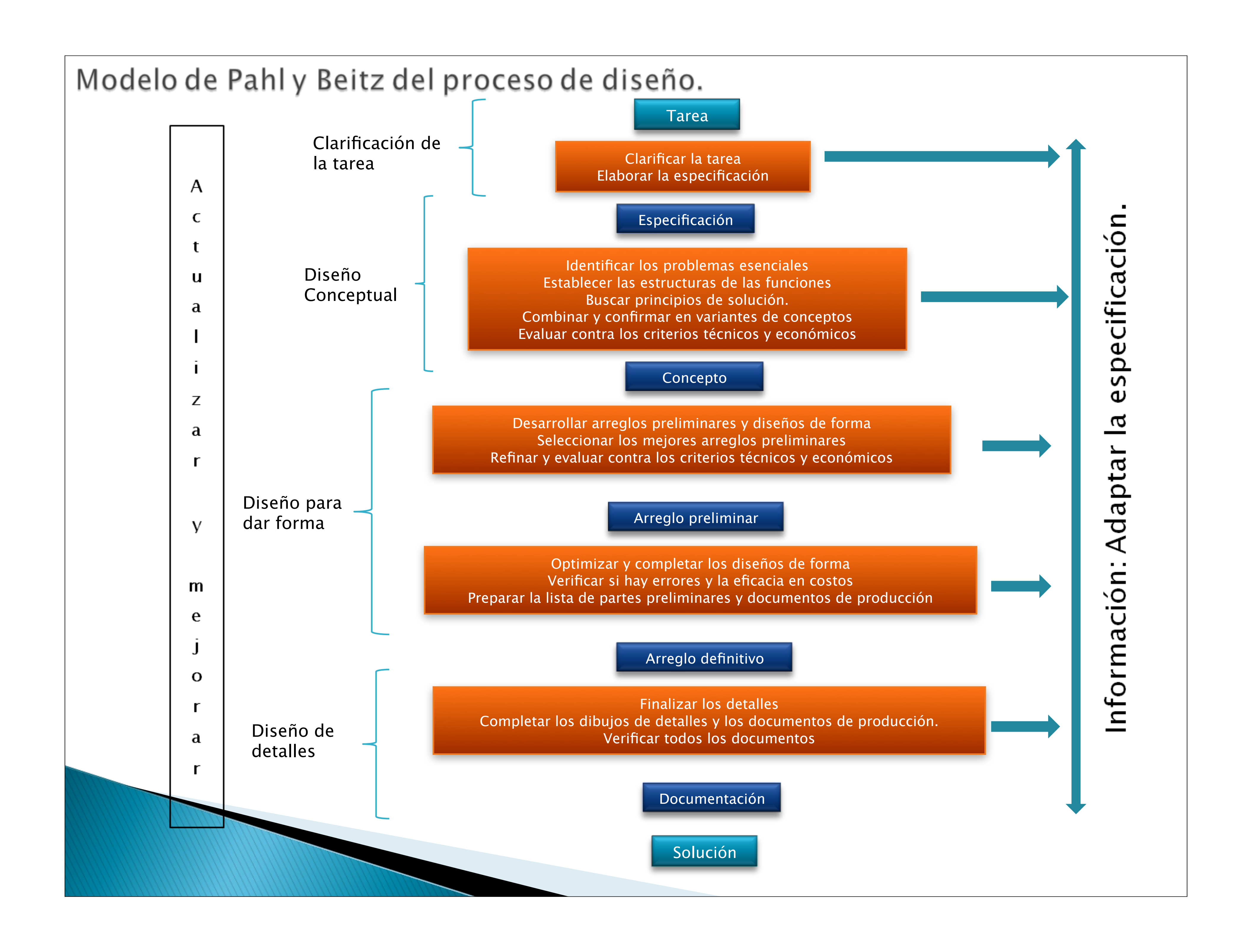
1.Un planteamiento del propio problema de diseño.
2.Las limitaciones que se imponen a la solución, por ejemplo: normas, restricciones, fechas terminación, etc.
3.El criterio de excelencia hacia el que se va ha trabajar.


Fundamentación
Herramientas
CAD
CNC
Moldes y Matrices
CAE
CAGD
Ingeniería Inversa
Automatización
Dinámica de Grupos
Rapid Prototyping
Fundición
Metrología
Fundamentos Científicos
Investigación
PROCESO
Prototipado
Diseño
Industrialización
Evaluación
Puesta en Marcha
Fabricación
Base de Conocimientos
Especificaciones Técnicas
Investigación
Investigación de Mercado
Fundamentos
Métodos
Aspectos Legales Normas, Patentes, Tratados Internacionales
Tecnologías de Fabricación
Investigación

Modelo ó metodología de diseño.

Análisis → Síntesis → Evaluación

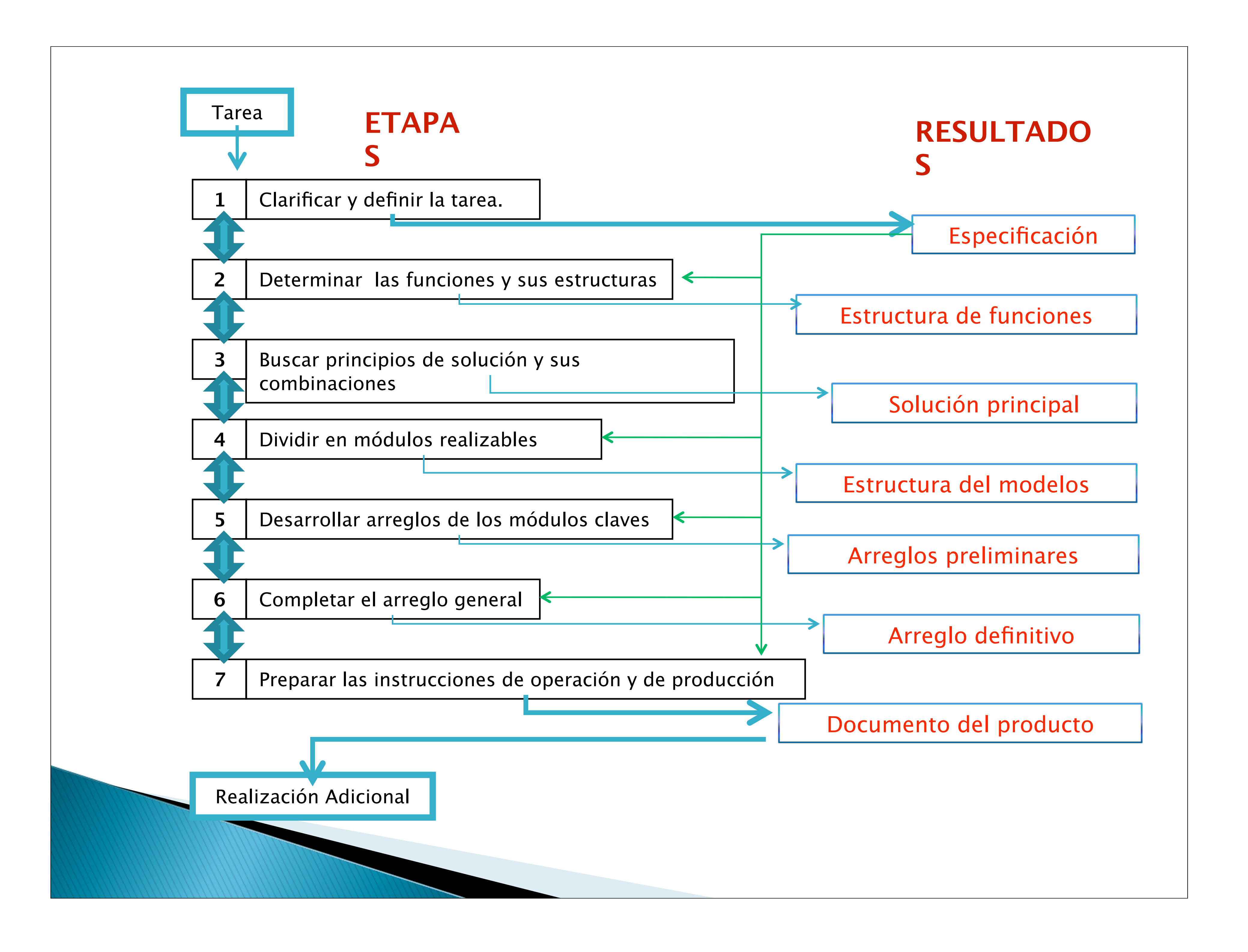
- **Análisis:** Elaborar un lista de todos los requisitos diseño y la reducción de éstos a un conjunto completo de especificaciones.
- **Síntesis:** Encontrar soluciones posibles para cada especificación y desarrollar diseños completos a partir de estos.
- **Evaluación.** Evaluar con exactitud con la cual los diseños alternativos satisfacen los requisitos de rendimiento para la operación, manufactura y ventas antes de seleccionar el diseño final.

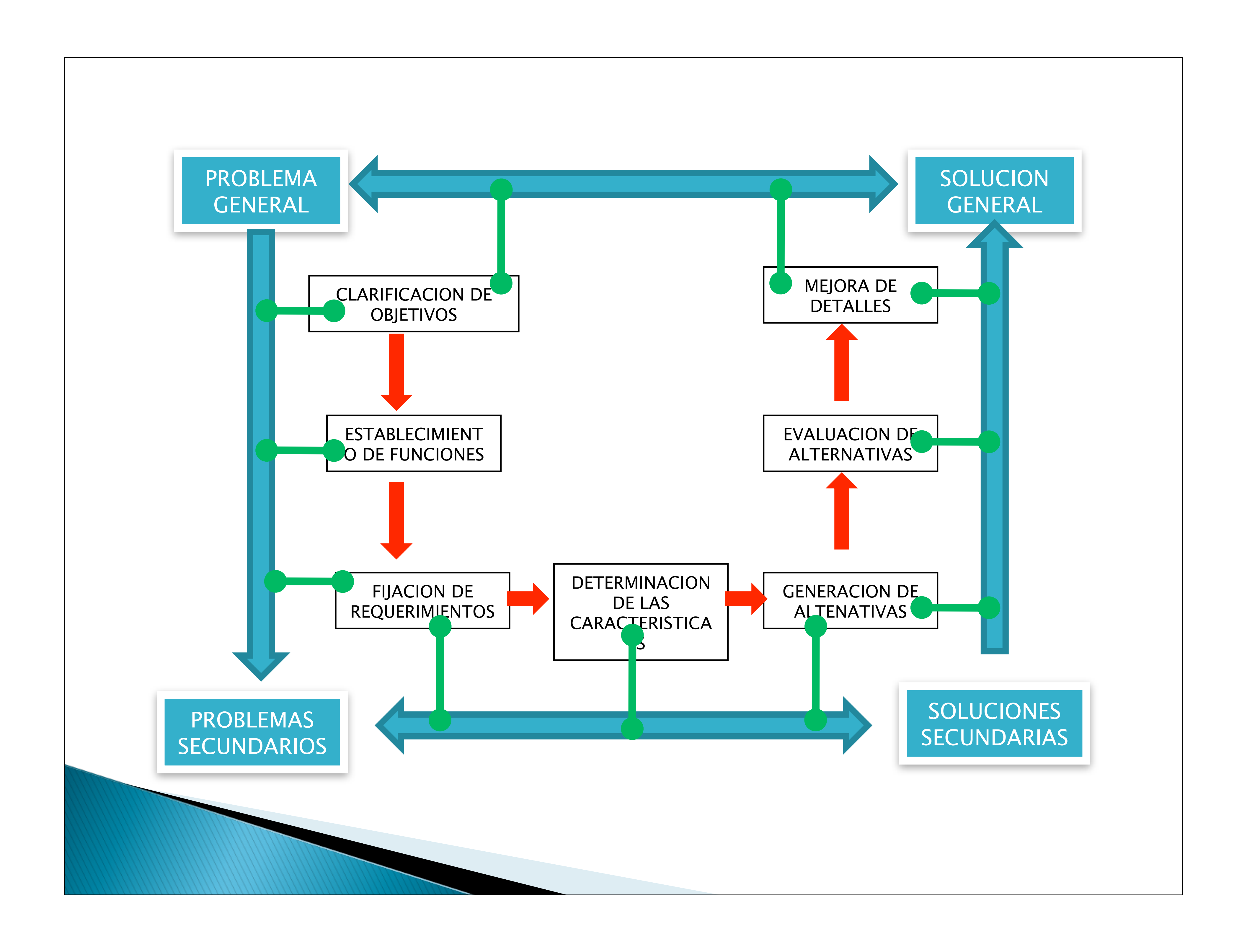


Modelo de Pahl y Beitz del proceso de diseño.
Actualizar y mejorar
Tarea
Clarificación de la tarea
Clarificar la tarea
Elaborar la especificación
Especificación
Diseño Conceptual
Identificar los problemas esenciales
Establecer las estructuras de las funciones
Buscar principios de solución.
Combinar y confirmar en variantes de conceptos
Evaluar contra los criterios técnicos y económicos
Concepto
Diseño para dar forma
Desarrollar arreglos preliminares y diseños de forma
Seleccionar los mejores arreglos preliminares
Refinar y evaluar contra los criterios técnicos y económicos
Arreglo preliminar
Optimizar y completar los diseños de forma
Verificar si hay errores y la eficacia en costos
Preparar la lista de partes preliminares y documentos de producción
Arreglo definitivo
Diseño de detalles
Finalizar los detalles
Completar los dibujos de detalles y los documentos de producción.
Verificar todos los documentos
Documentación
Solución
Información: Adaptar la especificación.

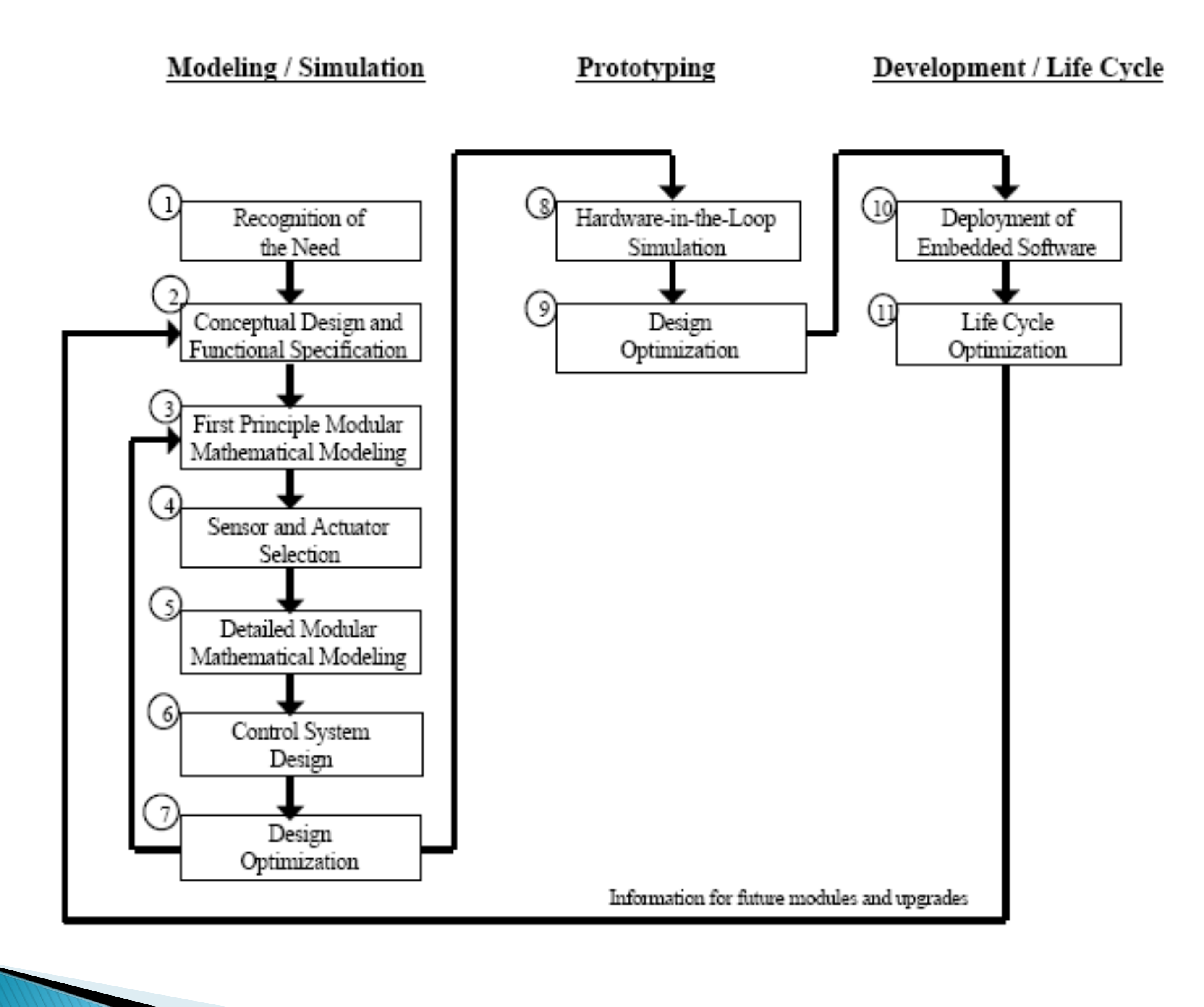
Modelo VDI 2221

- Modelo desarrollado en Alemania (VDI: Verein Deutscher Ingenierue). Enfoque sistemático para el diseño de sistemas técnicos y productos.
- El proceso de diseño, como parte de la creación de un producto, se subdivide en etapas de trabajos generales, haciendo que el enfoque de diseño sea transparente, lógicamente ordenado e independiente de una rama específica de la industrial.


Tarea
ETAPAS
RESULTADOS
1 Clarificar y definir la tarea.
Especificación
2 Determinar las funciones y sus estructuras
Estructura de funciones
3 Buscar principios de solución y sus combinaciones
Solución principal
4 Dividir en módulos realizables
Estructura del modelos
5 Desarrollar arreglos de los módulos claves
Arreglos preliminares
6 Completar el arreglo general
Arreglo definitivo
7 Preparar las instrucciones de operación y de producción
Documento del producto
Realización Adicional



PROBLEMA GENERAL
SOLUCION GENERAL
CLARIFICACION DE OBJETIVOS
MEJORA DE DETALLES
ESTABLECIMIENTO DE FUNCIONES
EVALUACION DE ALTERNATIVAS
FIJACION DE REQUERIMIENTOS
DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS
GENERACION DE ALTENATIVAS
PROBLEMAS SECUNDARIOS
SOLUCIONES SECUNDARIAS



Modeling / Simulation
Prototyping
Development / Life Cycle
1 Recognition of the Need
2 Conceptual Design and Functional Specification
3 First Principle Modular Mathematical Modeling
4 Sensor and Actuator Selection
5 Detailed Modular Mathematical Modeling
6 Control System Design
7 Design Optimization
8 Hardware-in-the-Loop Simulation
9 Design Optimization
10 Deployment of Embedded Software
11 Life Cycle Optimization
Information for future modules and upgrades

Identificar las necesidades.

1. Recopilar datos de los clientes.
2. Interpretar los datos en términos de las necesidades del cliente.
3. Organizar las necesidades en una jerarquía de necesidades primarias, secundarias y si es necesario terciarias.
4. Establecer la importancia relativa de las necesidades.
5. Reflejarla en los resultados y en el proceso.

1. Recopilar datos de los clientes.

- **Entrevista con el cliente.**

Uno o mas miembros del equipo analizan las necesidades con un solo cliente, las entrevistas duran entre una y dos horas.

Que preguntar ????

Qué?
Cómo?
Porqué?
Para qué?

1. Recopilar datos sin procesar de los clientes.

<u>Sugerencias para la interacción con el cliente:</u>

- Ir con la corriente.
- Utilizar estímulos y propuestas visuales.
- Suprimir hipótesis previamente concebidas sobre la tecnología del producto.
- Hacer que el cliente demuestre el producto y/o las funciones típicas relacionadas con éste.
- Hay que estar alerta de que surjan sorpresas y de la expresión de necesidades latentes.
- Observar la información no verbal.

1. Recopilar datos sin procesar de los clientes.

Documentar las interacciones con el cliente.

- Grabación de audio.
- Notas.
- Grabación de video.
- Fotografía fija.

2. Interpretar los datos sin procesar en términos de las necesidades del cliente

•Expresar la necesidad en términos de lo que el producto tiene que hacer, no en términos de cómo podría hacerlo.

•Expresar la necesidad tan específicamente como los datos sin procesar.

•Utilizar fraseo positivo, no negativo.

•Expresar la necesidad como un atributo del producto.

•Evitar las palabras debe y debería.

Cliente:	Bill Esposito	**Entrevistador(es):**	Jonathan y Lisa
Domicilio:	100 Memorial Drive Cambridge, MA 02139	**Fecha:**	19 de diciembre del 2002
Teléfonos:	617-864-1274	**Actualmente utiliza:**	Craftsman modelo A3
¿Le gustaría participar en el seguimiento?	Sí	**Tipo de usuario:**	Mantenimiento del edificio

Pregunta/enunciado	Enunciado del cliente	Necesidad interpretada
Usos típicos	Necesito ajustar rápidamente los tornillos, más rápido que con la mano.	El SD ajusta los tornillos más rápido que a mano.
	Algunas veces hago trabajo en conductos; utilizo tornillos de lámina metálica.	El SD fija los tornillos de lámina metálica en los trabajos de conductos metálicos.
	Muchos componentes eléctricos; cubiertas de interruptores, tomas de salida, ventiladores, aparatos de cocina.	El SD se puede utilizar para tornillos en dispositivos eléctricos.
Le gusta – herramienta actual	Prefiero el mango de la pistola; tiene una mejor sensación.	El SD tiene una sujeción confortable.
	Me gusta la punta magnetizada.	La punta del SD retiene el tornillo antes de que sea ajustado.
Le disgusta – herramienta actual	No me gusta cuando la punta se sale del tornillo.	La punta del SD se mantiene alineada, la cabeza del tornillo no se desliza.
	Me gustaría que se pudiera utilizar con la batería descargada.	El usuario puede aplicar torsión manualmente al SD para ajustar un tornillo. (!)
	No se pueden ajustar tornillos en madera dura.	El SD puede ajustar tornillos en madera dura.
	Algunas veces se barren los tornillos rígidos.	El SD no barre las cabezas de los tornillos.
Mejoras sugeridas	Un aditamento que me permita alcanzar orificios más reducidos.	El SD puede acceder a tornillos hasta el extremo de los orificios más profundos y más estrechos.
	Una punta para que pueda quitar la pintura de los tornillos.	El SD permite al usuario trabajar con tornillos que tienen pintura encima.
	Estaría bien, si pudiera perforar un orificio guía.	El SD se puede utilizar para crear un orificio guía.

TABLA 4.2 La plantilla de datos con enunciados del cliente y las necesidades interpretadas. El SD es una abreviatura

Sistema desatornillador.

“Que” no “como”

Especificidad

Positivo no negativo

Un atributo del producto

Evitar “debe” y “debería”

to	Enunciado del cliente	Enunciado de necesidad-correcto	Enunciado de necesidad-incorrecto
mo”	“¿Por qué no incluyen blindajes protectores alrededor de los contactos de la batería?”	La batería del desarmador está protegida contra un cortocircuito accidental.	Los contactos de la batería del desarmador están cubiertos con una puerta deslizante de plástico.
	“Todo el tiempo se me cae el desarmador.”	El desarmador funciona normalmente después de que se ha dejado caer repetidas veces.	El desarmador es resistente.
	“No importa si está lloviendo; necesito trabajar a la intemperie los sábados.”	El desarmador funciona normalmente en la lluvia.	El desarmador no deja de funcionar por la lluvia.
el	“Me gustaría cargar la batería en el encendedor del automóvil.”	La batería del desarmador se puede cargar en un encendedor de automóvil.	Un adaptador para el encendedor de automóvil puede cargar la batería del desarmador.
y	"Me disgusta no saber cuánto queda en las baterías de mis herramientas inalámbricas.”	El desarmador tiene una indicación del nivel de energía de la batería.	El desarmador debería tener una indicación del nivel de energía de la batería.

4 Ejemplos que ilustran los lineamientos para los enunciados de las necesidades que se tienen por escrito.

3. Organizar las necesidades en una jerarquía.

- Imprimir cada enunciado.
- Eliminar los enunciados redundantes.
- Agrupar de acuerdo con la similitud de la necesidad.
- Para cada grupo elegir una etiqueta generalizada de la necesidad.

El SD suministra potencia suficiente para ajustar tornillos.
* El SD mantiene la corriente por muchas horas de uso pesado.
** El SD puede ajustar tornillos en madera dura.
El SD ajusta los tornillos de lámina metálica en una labor de conductos metálicos.
*** El SD ajusta los tornillos más rápido que manualmente.

El SD hace que sea fácil el inicio de apretar un tornillo.
* El SD retiene el tornillo antes de que sea ajustado.
*! El SD se puede utilizar para crear un orificio guía.

El SD funciona con una amplia variedad de tornillos.
** El SD puede girar tornillos de cabeza hexagonal, tomacorrientes, Philips, Torx.
** El SD puede ajustar tornillos de muchos tamaños.

El SD se acopla a la mayoría de los tornillos.
El SD se puede maniobrar en áreas cerradas.
** El SD se acopla a los tornillos en el extremo de los orificios más profundos y estrechos.

El SD gira los tornillos que están en condiciones deficientes.
El SD se puede utilizar para remover grasa y suciedad de los tornillos.
El SD permite al usuario trabajar con tornillos pintados.

El SD se siente bien en la mano del usuario.
*** El SD es cómodo cuando el usuario hace presión sobre él.
*** El SD es cómodo cuando el usuario resiste la torsión.
* El SD se equilibra bien en la mano del usuario.
! El SD se puede utilizar fácilmente en ambas manos, derecha o izquierda.
El peso del SD es adecuado.
El SD tiene una temperatura tibia cuando se toca en ambientes fríos.
El SD puede estar bajo el sol.

El SD es fácil de controlar cuando se giran los tornillos.
*** El usuario puede hacer fuerza de presión sobre el SD.
*** El usuario puede resistir los giros del SD.
El SD se puede "bloquear en modo de operación".
**! La velocidad del SD puede ser controlada por el usuario mientras gira un tornillo.
* El SD se mantiene alineado sin que se resbale la cabeza del tornillo.
** El usuario puede ver fácilmente dónde está el tornillo.
* El SD no daña las cabezas del tornillo.
* El SD es fácilmente reversible.

El SD es fácil de configurar y utilizar.
* El SD es fácil de encender.
* El SD evita apagarse inadvertidamente.
* El usuario puede establecer la máxima torsión del SD.
*! El SD proporciona un fácil acceso a las brocas o a los accesorio
* El SD se puede fijar al usuario para su almacenamiento tempo

La corriente del SD es conveniente.
* El SD es fácil de recargar.
El SD se puede utilizar mientras se recarga.
*** El SD se recarga de manera rápida.
Las baterías del SD son fáciles de utilizar cuando están nuevas
**! El usuario puede aplicar torsión manualmente al SD para mov un tornillo.

El SD es muy durable.
** La punta del SD sobrevive al uso pesado.
El SD se puede martillar.
* El SD se puede dejar caer desde una escalera sin que sufra ningún daño.

El SD es fácil de almacenar.
* El SD se guarda fácilmente en una caja de herramientas.
** El SD se puede cargar mientras está almacenado.
El SD resiste la corrosión cuando se deja en exteriores o en lugares húmedos.
*! El SD mantiene su carga durante largos periodos de almacenamiento.
El SD mantiene su carga cuando el ambiente es húmedo.

El SD evita que su labor se dañe.
* El SD evita que se dañe la cabeza del tornillo.
El SD evita ralladuras en las superficies acabadas.

El SD tiene un sonido agradable cuando se utiliza.

El SD luce como una herramienta de calidad profesional.

El SD es seguro.
El SD se puede utilizar sobre dispositivos eléctricos.
*** El SD no corta las manos del usuario.

4. Establecer la importancia relativa de las necesidades.

- Ponderar cada una de las necesidades, de acuerdo a un consenso entre los integrantes del equipo de trabajo. Se pueden ponderar de tal manera que la suma de las importancias de todas las necesidades sea 100.

5. Reflejar en los resultados y en el proceso.

- Las necesidades del cliente se deberán expresar en términos de lo que el producto tiene que hacer y no en términos de cómo debería se implementado en el producto.

Análisis de las necesiades

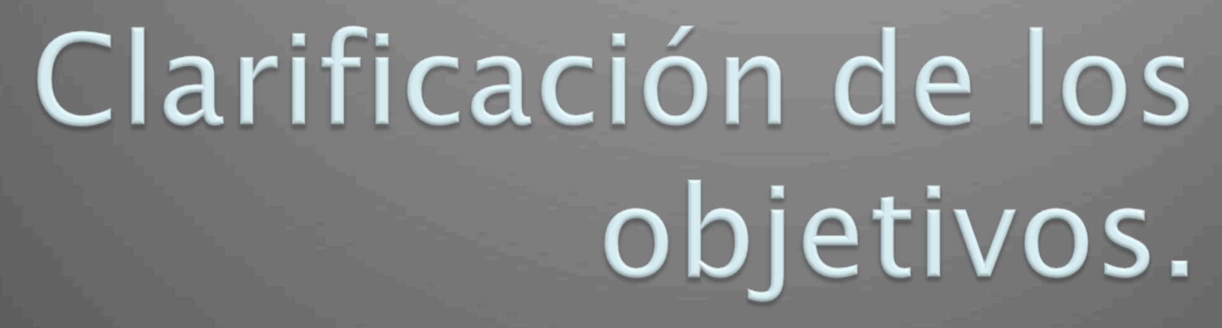
- Cuestionario adecuadamente estructurado.
- Preguntas para que el diseñador pueda generar sus especificaciones de diseño.

- Una vez obtenida esta información se pueden estimar los recursos materiales y humanos, así como estimar el tiempo necesario para el desarrollo del proyecto.

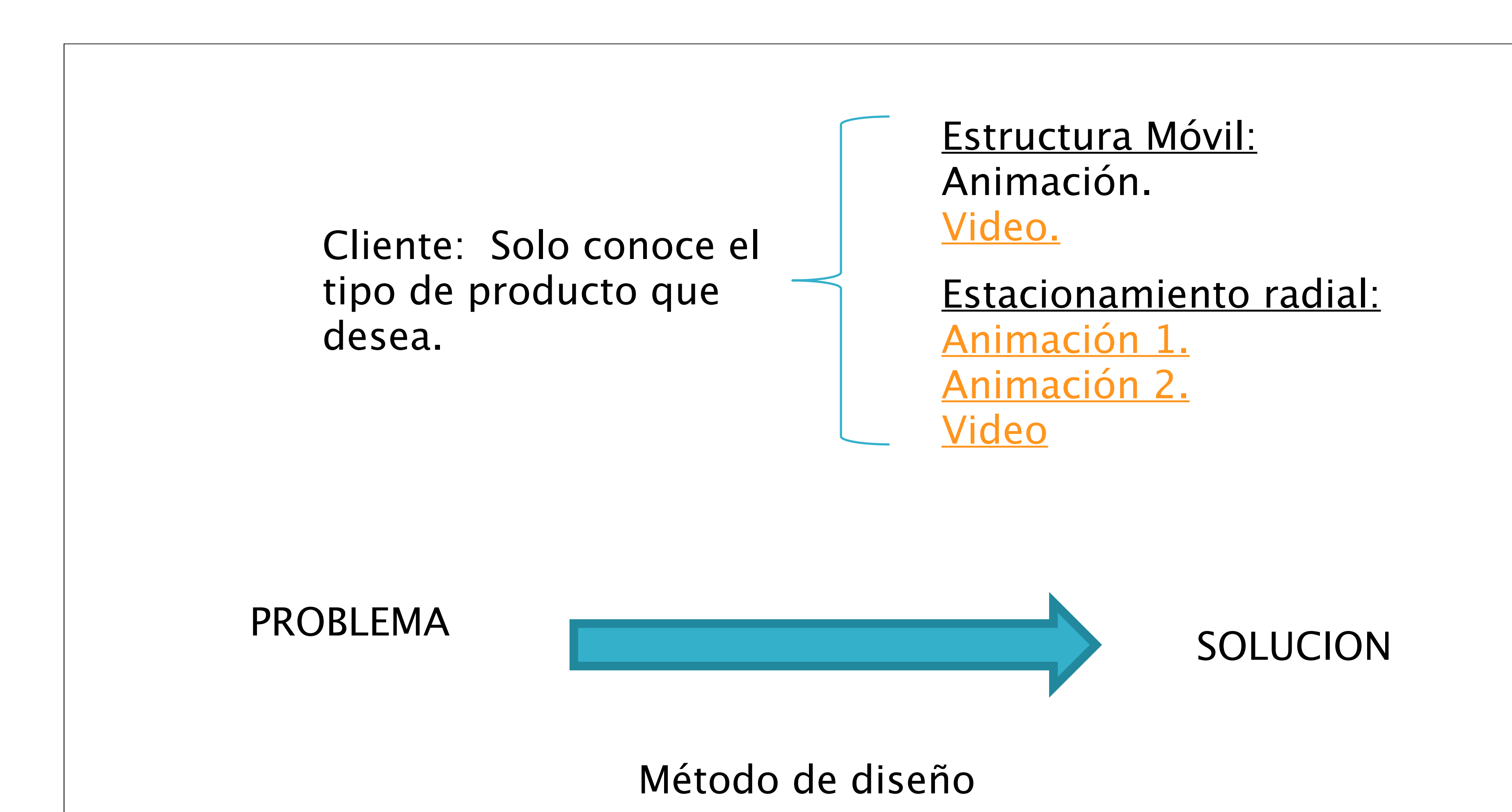
  - Planeación.
  - Alcances (Entregables).

Taller No.1

- Realizar un cuestionario con preguntas concretas, las cuales se harán a los profesores, equipo por equipo en un tiempo máximo de 10 min.
- El cuestionario con las preguntas y respuestas, serán entregados al final de la práctica.
- El cuestionario servirá como base para posteriormente obtener la planeación del proyecto.



- “Ha que saber a donde llegar”



Los objetivos de diseño también se denominan requerimientos del cliente, necesidades del usuario ó propósitos del producto.

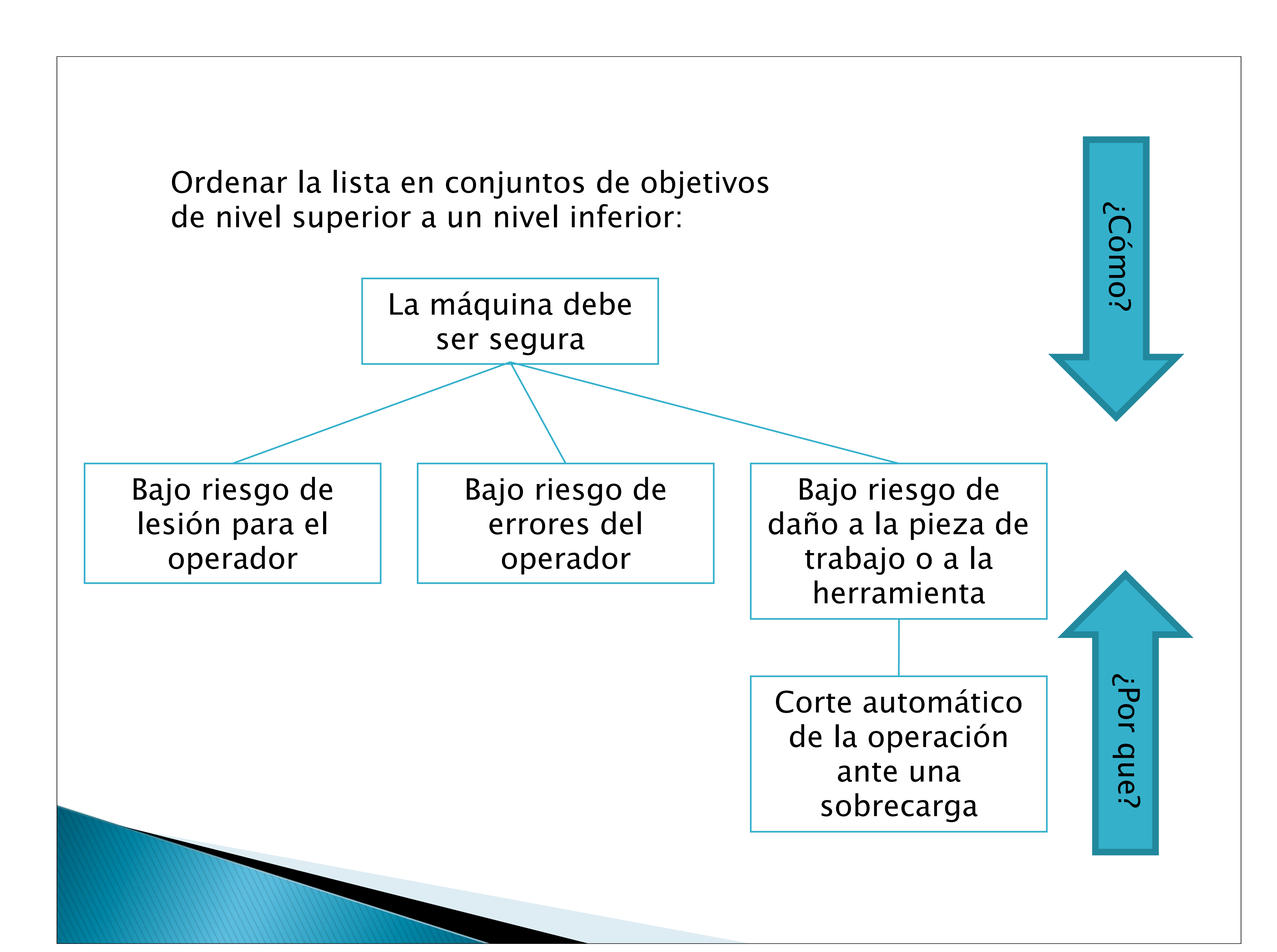
Método del árbol de objetivos

- Ejemplo:
- Se requiere diseñar una máquina-herramienta que sea "segura":

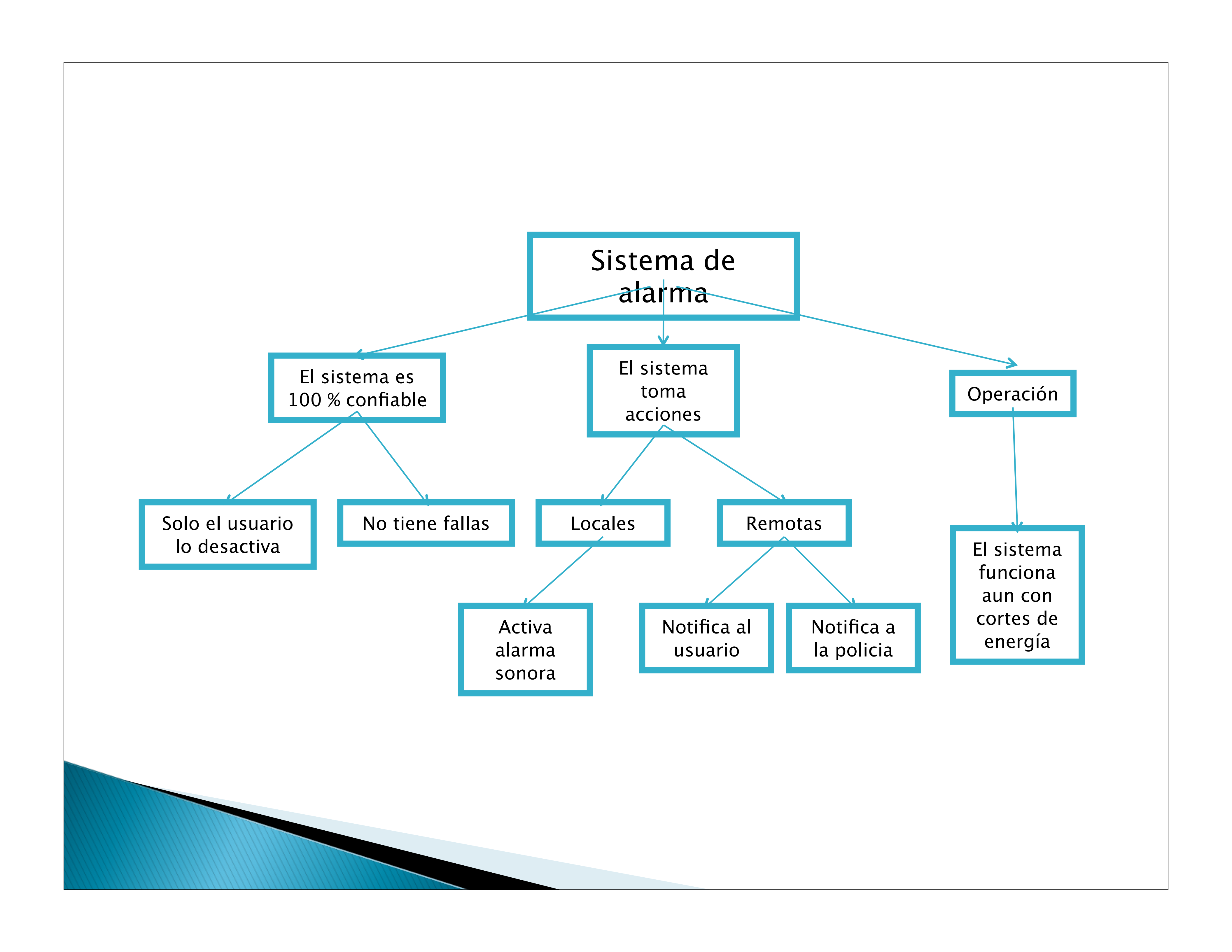
- Bajo riesgo de lesión al operador.
- Bajo riesgo de errores de operador.
- Bajo riesgo de daño a la pieza de trabajo o a la herramienta.
- Corte automático de la operación en caso de una sobrecarga.

A medida que se amplía la lista de objetivos, deberá quedar en claro que algunos se encuentran a mayores niveles de importancia que otros.

Las preguntas que son útiles para ampliar y clarificar los objetivos pueden ser: ¿Porqué?, ¿Cómo? y ¿Qué?



Ordenar la lista en conjuntos de objetivos de nivel superior a un nivel inferior:
La máquina debe ser segura
Bajo riesgo de lesión para el operador
Bajo riesgo de errores del operador
Bajo riesgo de daño a la pieza de trabajo o a la herramienta
Corte automático de la operación ante una sobrecarga
¿Cómo?
¿Por que?


Sistema de alarma
El sistema es 100 % confiable
El sistema toma acciones
Operación
Solo el usuario lo desactiva
No tiene fallas
Locales
Remotas
El sistema funciona aun con cortes de energía
Activa alarma sonora
Notifica al usuario
Notifica a la policia

Resumen:

- Preparar una lista de objetivos de diseño.

  Estos se toman del planteamiento de diseño, a partir de preguntas al cliente y de una reunión con el equipo de diseño.

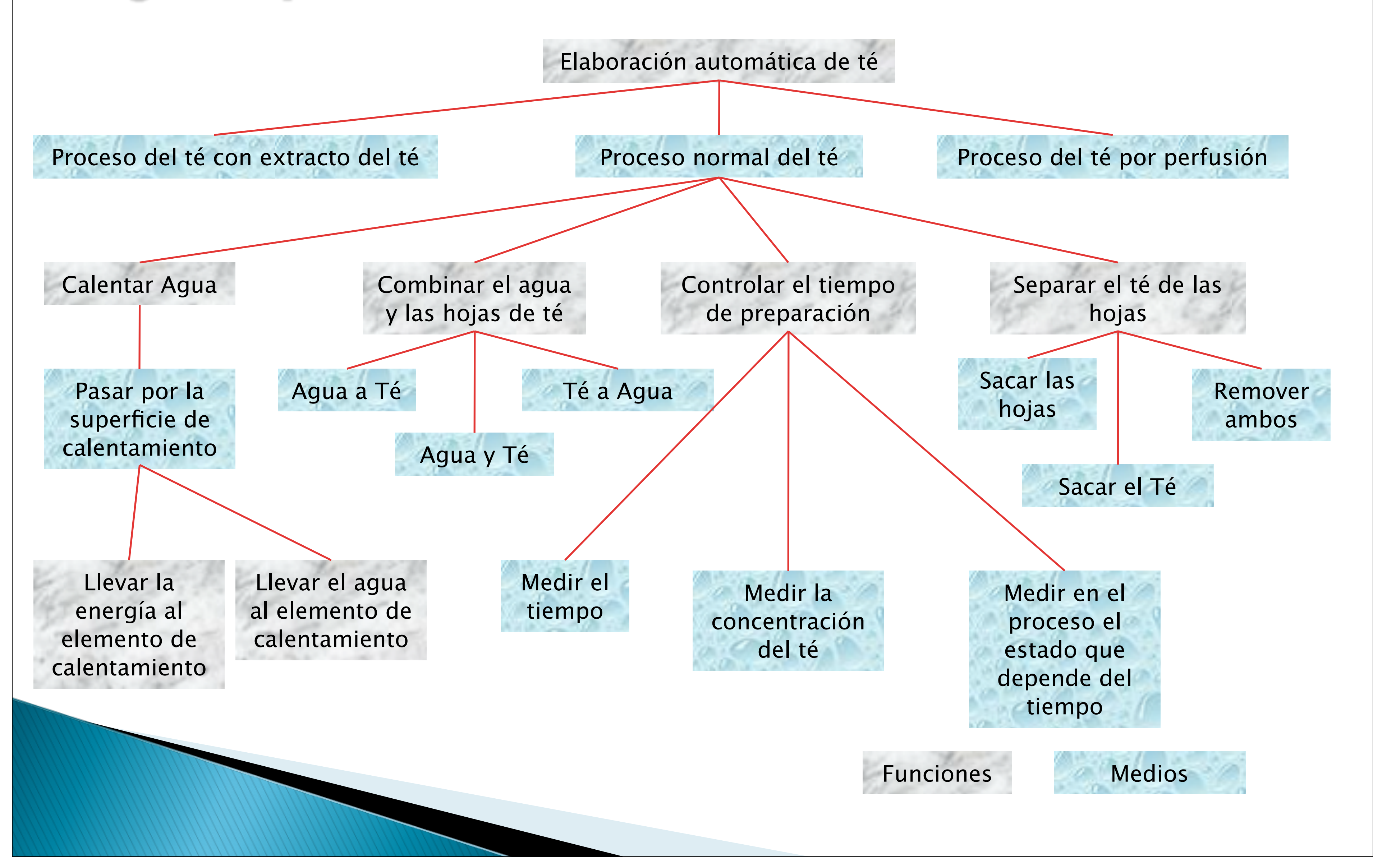
- Ordenar la lista en conjuntos de objetivos de mayor y menor nivel.

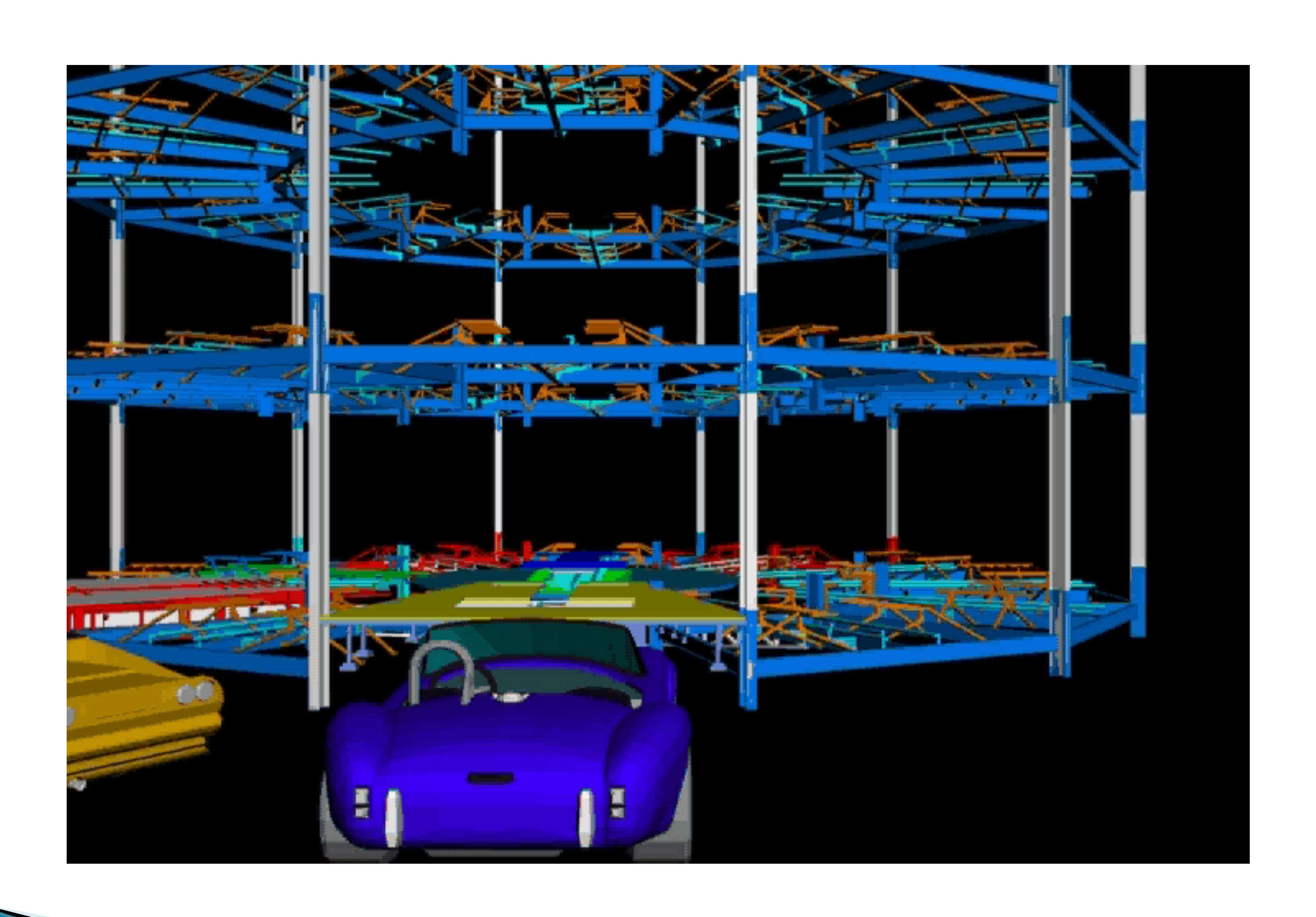
  Los objetivos principales y los objetivos secundarios de la lista ampliada se agrupan aproximadamente en niveles jerárquicos.

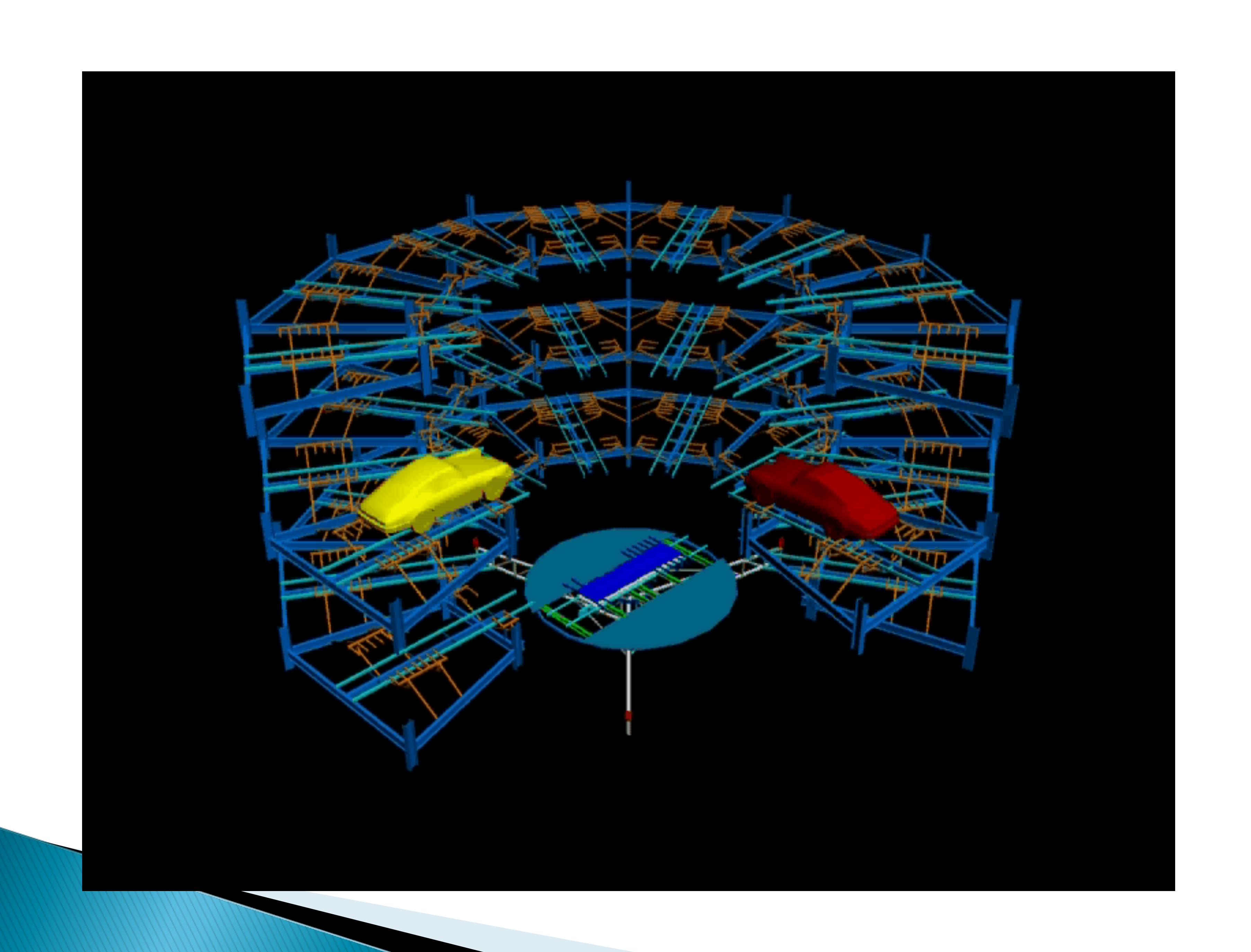
- Dibujar un diagrama del árbol de objetivos que muestre la relaciones jerárquicas e interconexiones.

  Las rama (o raíces) del árbol representan las relaciones que sugieren medios para alcanzar objetivos.

Ejemplo: Tetera Automática







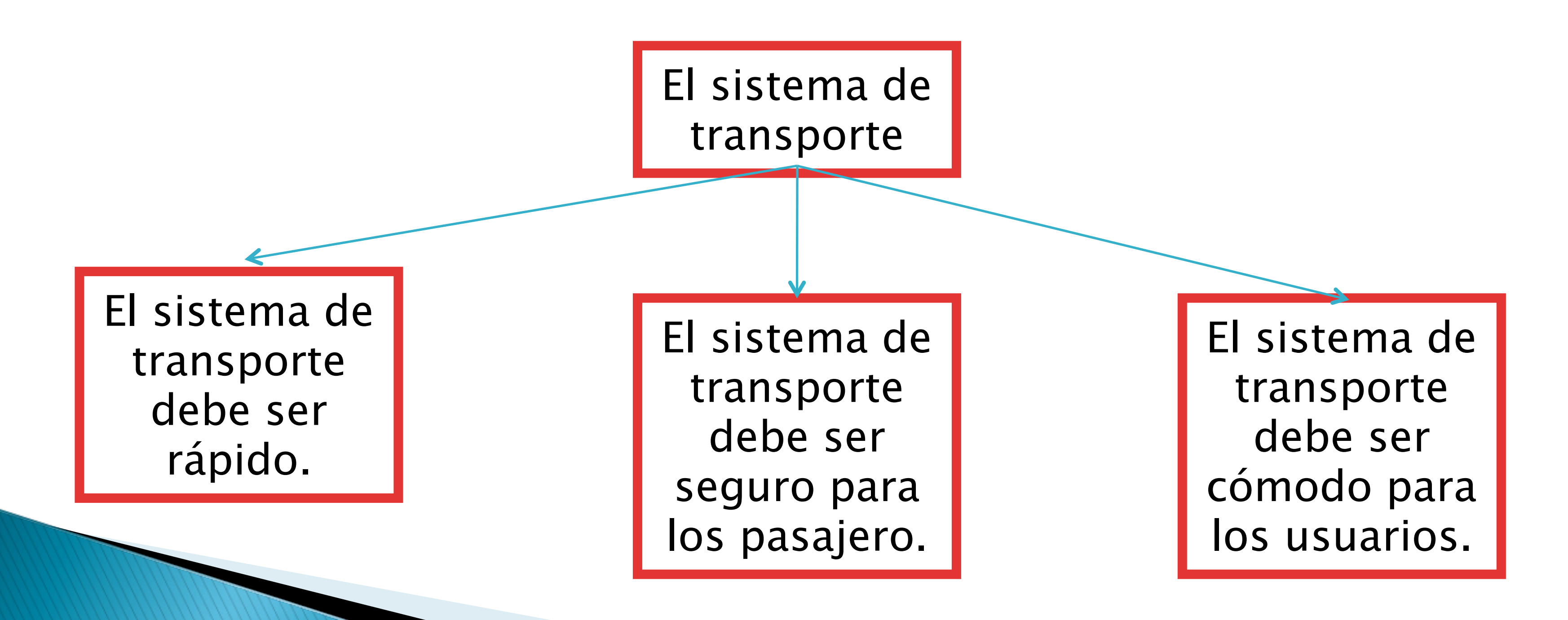






Tarea No 1.

- Diseñe el árbol de objetivos sobre el transporte público (Microbus) en la ciudad de México.
- Considere como objetivos primarios: Rápido, seguro, cómodo.




Establecimiento de las funciones.
Divide y vencerás.

Descripción del método.

- Este método ofrece un medio para considerar las funciones esenciales y el nivel en el que el problema debe abordarse. Las funciones esenciales son aquellas que debe satisfacer el dispositivo independientemente de los componentes físicos que pudieran utilizarse.

Procedimiento:

1. Expresar la función global del diseño en términos de la conversión de entradas y salidas.

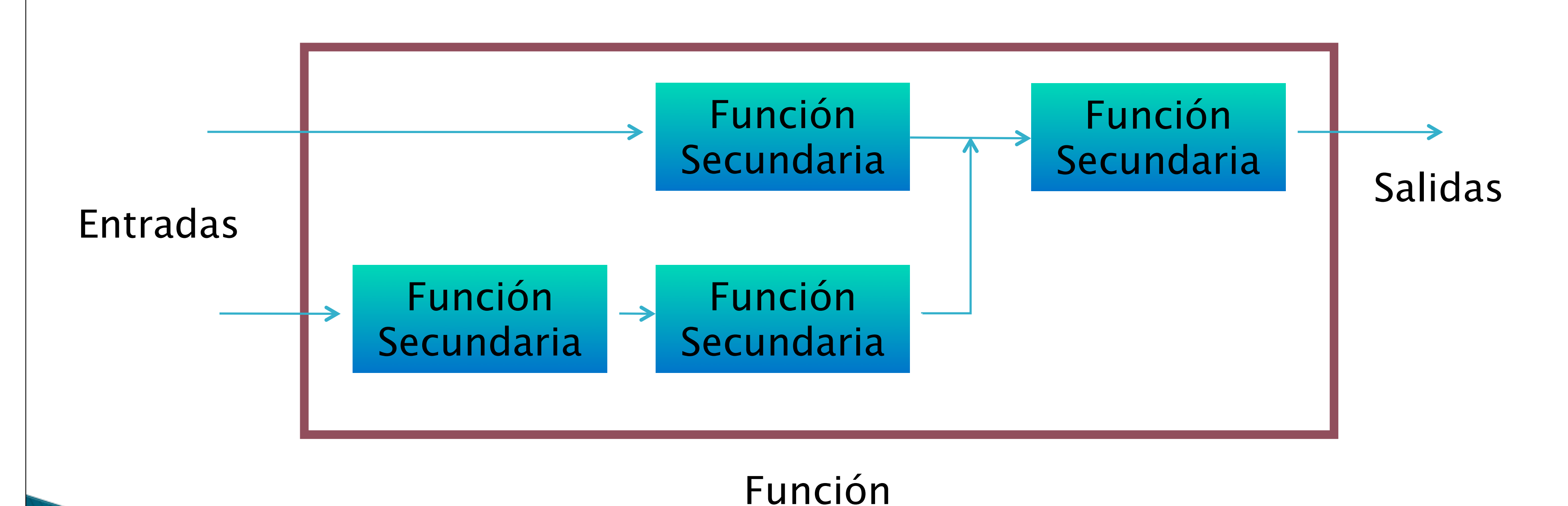


- 2. Descomponer la función global en un conjunto de funciones secundarias necesarias. Cuando se especifican las funciones secundarias, conviene plantearse con un verbo y un sustantivo.

  Por ejemplo: “amplificar señal”, “contar artículos”, “separar desperdicio”, etc.

  Cada función necesaria, tiene sus propias entradas y salidas.

- 3. Dibujar un diagrama de bloques que muestre las interacciones entre las funciones secundarias.



- Dibujar los limites del sistema.

  Aquí se definen los límites funcionales para el producto o dispositivo a diseñar.

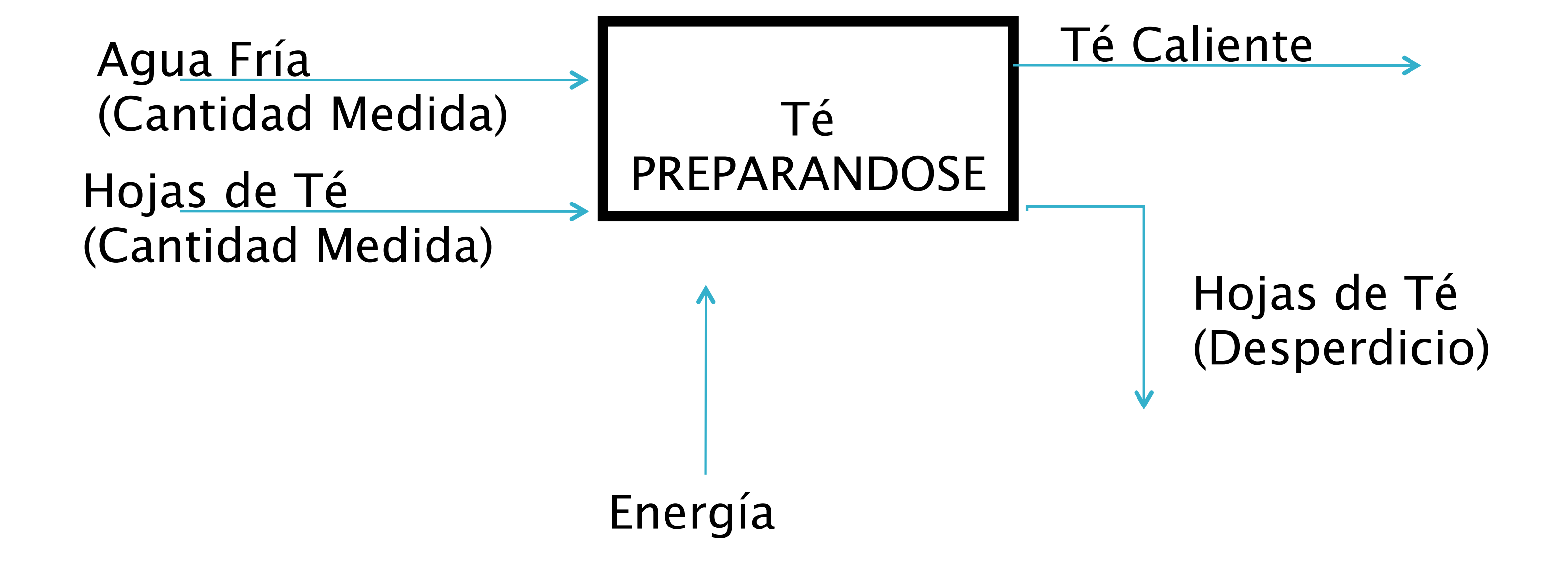
  En el diagrama no puede haber entradas o salidas “sueltas”, excepto aquéllas que provienen de los limites del sistema o van hacia afuera.

  Muchos de estos limites, dependen de los requerimientos del cliente o de la política gerencial.

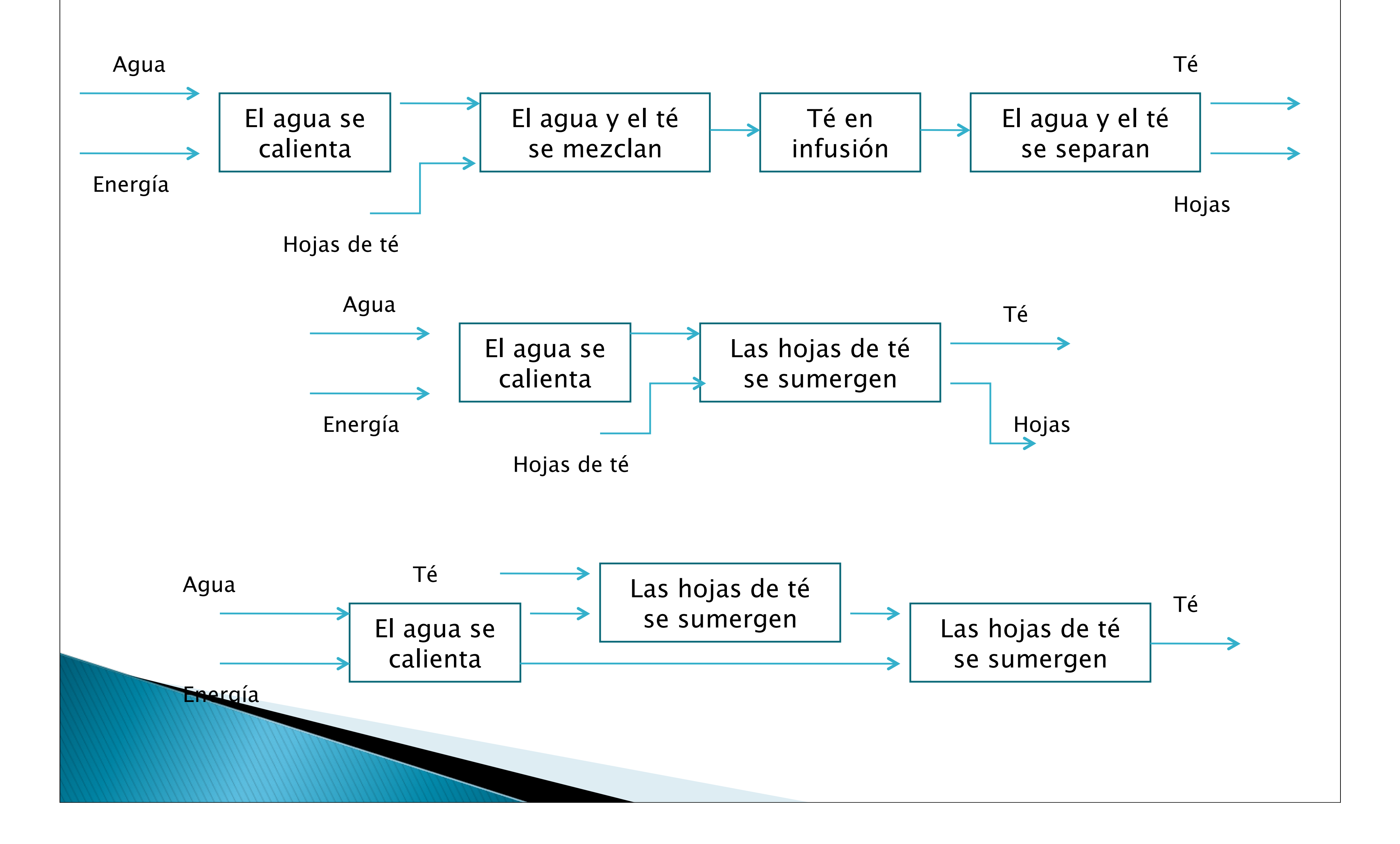
- 5. Buscar componentes apropiados para realizar las funciones secundarias y sus iteracciones.

Aquí se determina el tipo de sistema a ser desarrollado posteriormente (sistema mecánico, electrónico, PC, humano, etc.).

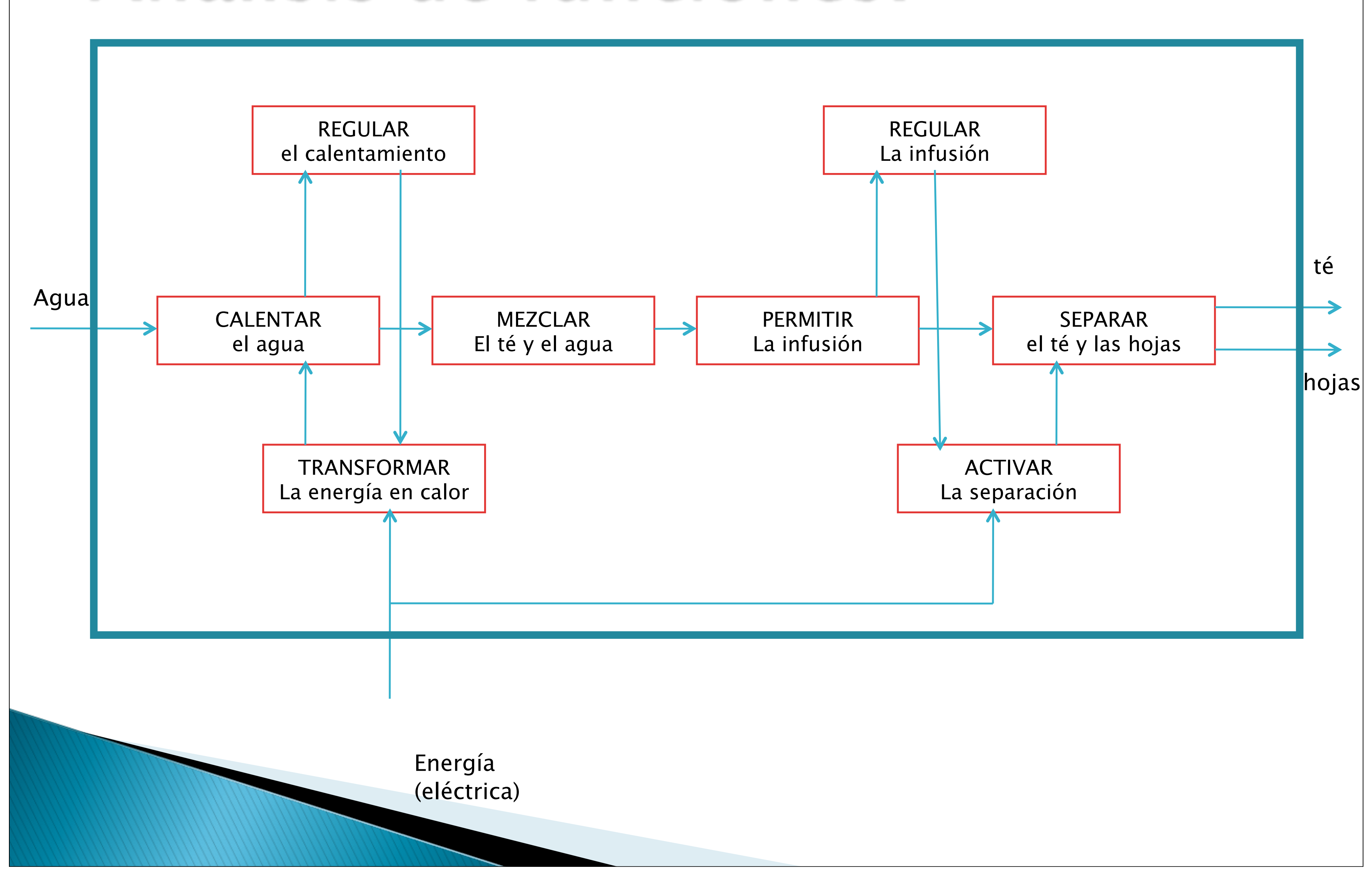
Ejemplo: Teterá Automática.



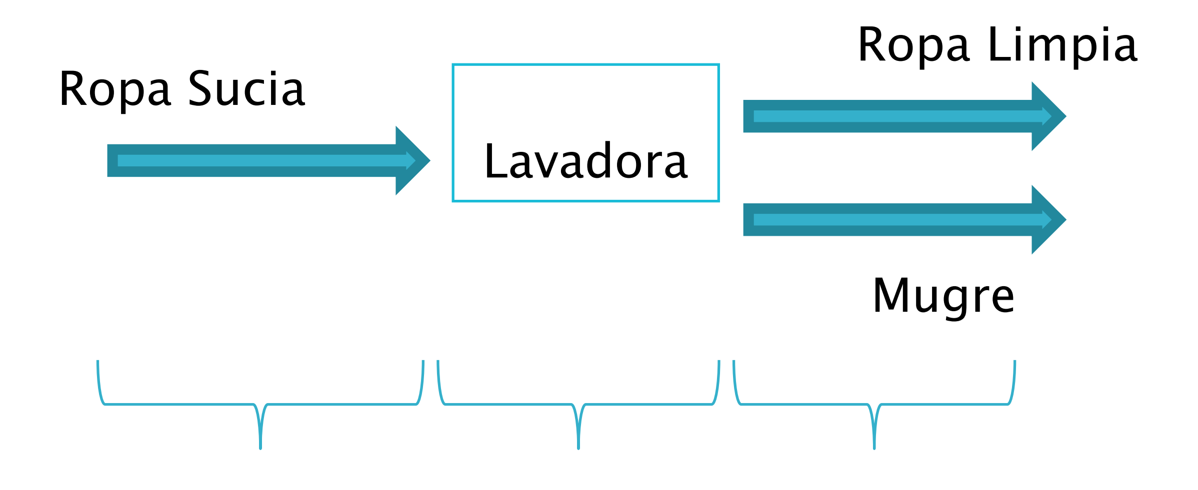
Modelos alternativos.



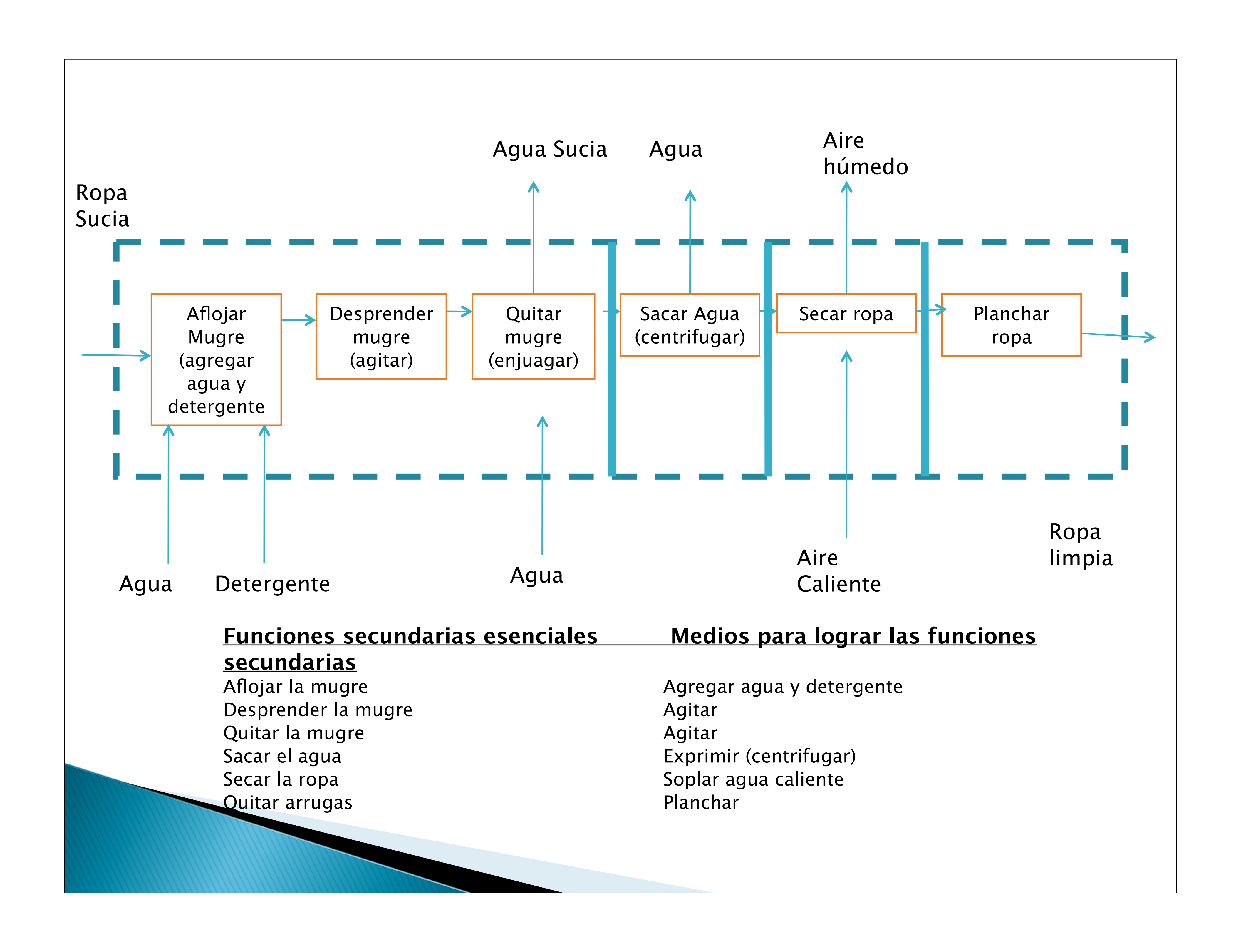
Análisis de funciones.



Ejemplo:



ENTRADAS FUNCION SALIDAS


Agua Sucia
Agua
Aire húmedo
Ropa Sucia
Aflojar Mugre (agregar agua y detergente
Desprender mugre (agitar)
Quitar mugre (enjuagar)
Sacar Agua (centrifugar)
Secar ropa
Planchar ropa
Agua
Detergente
Agua
Aire Caliente
Ropa limpia
Funciones secundarias esenciales
Medios para lograr las funciones secundarias
Aflojar la mugre
Agregar agua y detergente
Desprender la mugre
Agitar
Quitar la mugre
Agitar
Sacar el agua
Exprimir (centrifugar)
Secar la ropa
Soplar agua caliente
Quitar arrugas
Planchar



Posición deseada

Energía

Posición del péndulo

Leer posición de la interfaz

Generar error

Evaluar controlador

Amplificar señal de corrección

Mover motor

Desplazar móvil

Corregir posición del péndulo

Leer posición real

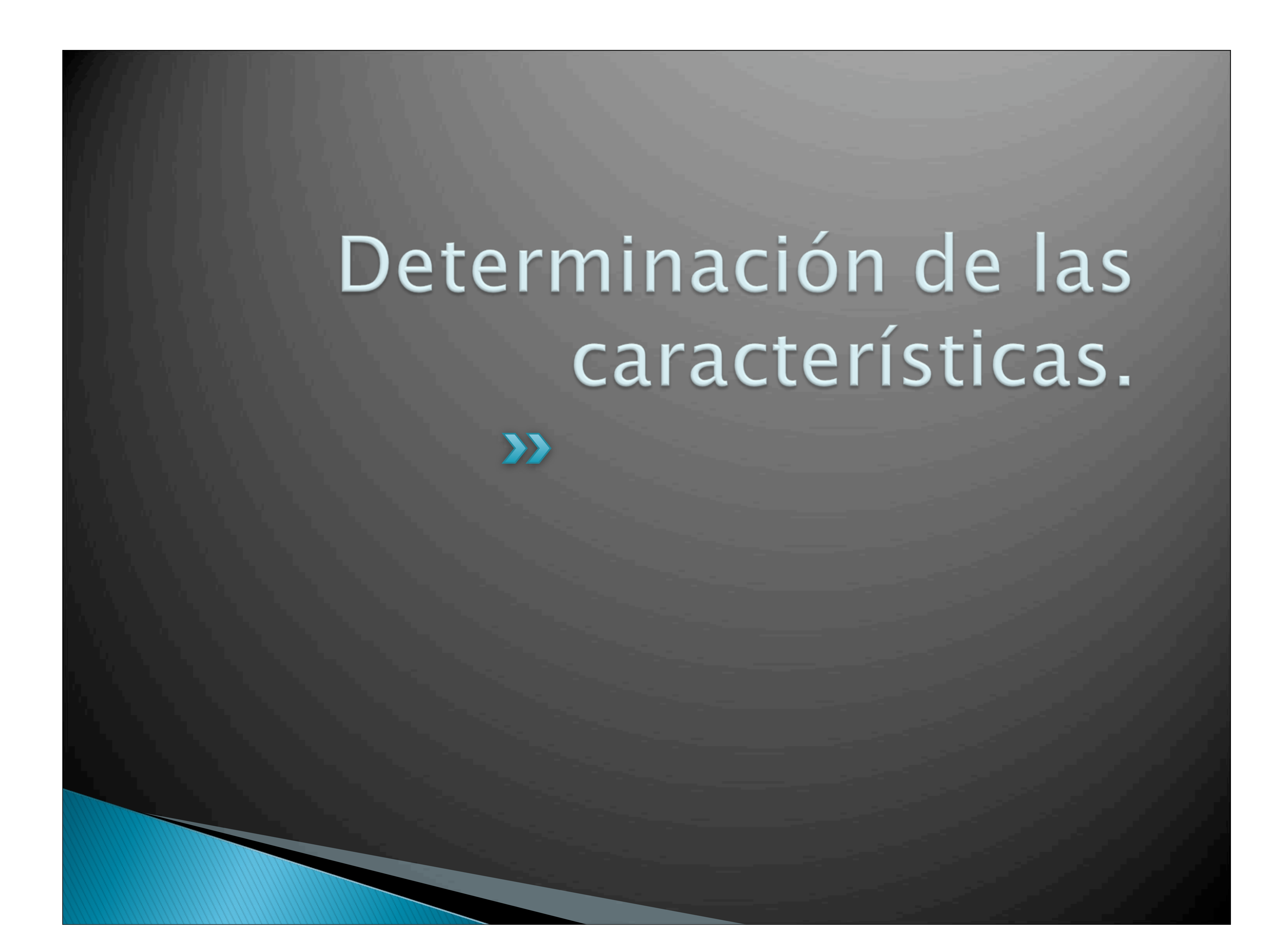
Acondicionar señal

Taller No. 2

- Realizar una presentación por equipo, donde se realice (Máx. 10 min) y seleccionar un integrante del equipo que realice la presentación :

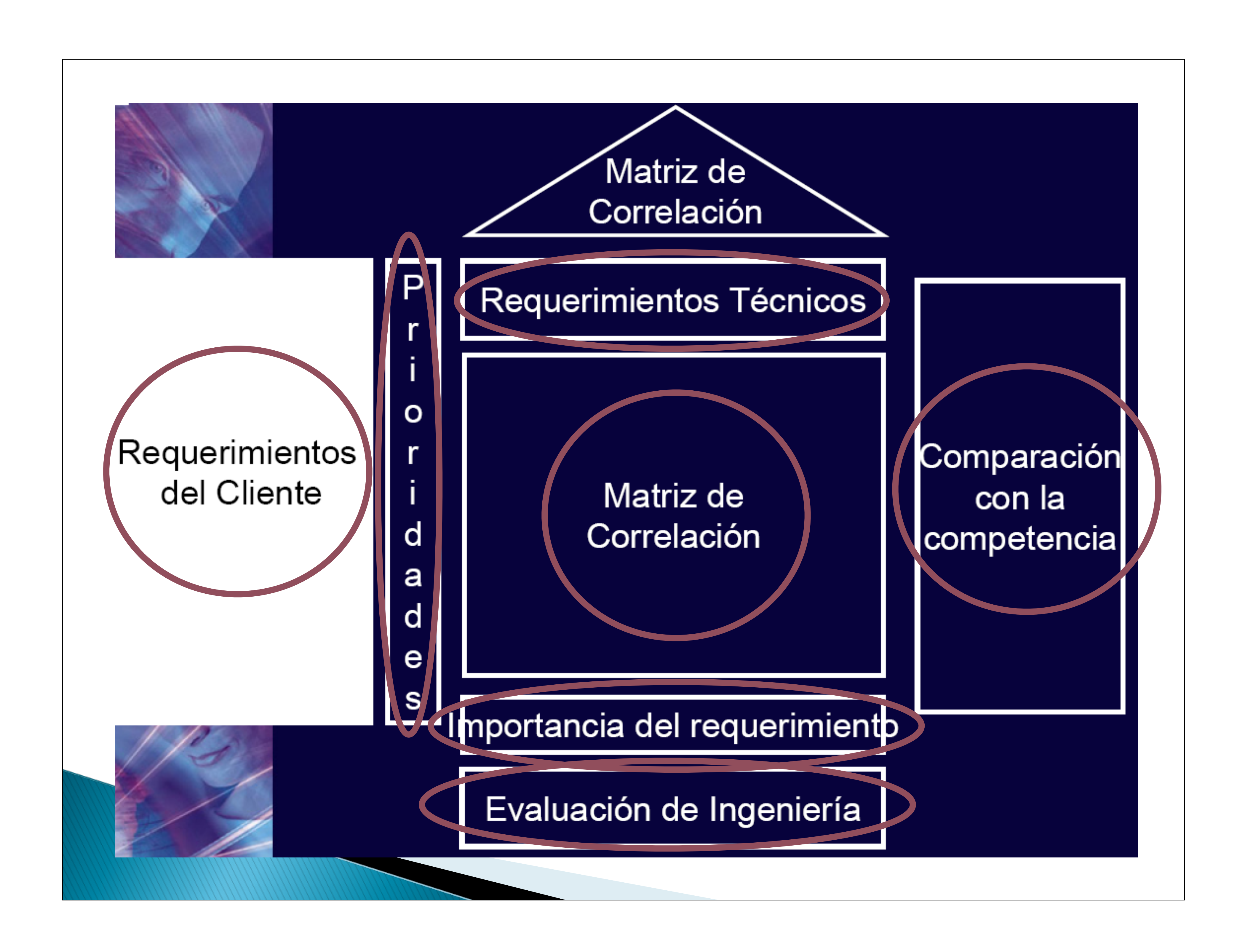
1. Enunciados obtenidos de la entrevista con el cliente (procesados).
2. Clasificación de los enunciados con prioridades.
3. Árbol de objetivos (sistema mecánico, electrónico y de control, con posibles interacciones).
4. Caja Negra y funciones detalladas del sistema detallado.

Nota: Enviar presentación a sera_castaneda@yahoo.com.mx a mas tardar en día viernes a las 9:00 hrs.


Determinación de las características.

- Es necesario entender exactamente qué desean los clientes en términos de los atributos del producto y asegurar que éstos se traduzcan cuidadosamente en especificaciones apropiadas a las características de ingeniería.

- Un método completo para lograr la correspondencia entre los requerimientos del cliente con las características de ingeniería es el método de **despliegue de la función de calidad (QFD).**


Matriz de Correlación
Requerimientos Técnicos
P r i o r i d a d e s
Requerimientos del Cliente
Matriz de Correlación
Comparación con la competencia
Importancia del requerimiento
Evaluación de Ingeniería

NECESIDADES DEL CLIENTE					PRIORIDAD
Un sistema cómodo, seguro y atractivo	Comodidad	Tiempos breves de recorrido	Sistema facilmente accesible	Facil acceso a las terminales	
				Alta frecuencia de servicio	
			Alta velocidad de los vehiculos		
			Baja probabilidad de demoras	Poca interferferencia con otro tipo de transito	
				Baja probabilidad de fallas	
				Baja susceptibilidad al clima	
		Costos bajos para el usuario	Políticas de precios apropiados		
	Seguridad	Pocas muertes	Respuesta rápida de los servicios médicos		
		Pocas lesiones	Bajo riesgo de lesiones por accidente		
		Pocos daños a propiedades	Bajo riesgo de accidentes		
	Atractivo	Usuario	Ambiente agradable		
			Poco ruido		
			Gran campo visual		
		No usuario	Poco ruido exterior		
			Sin obtrucciones visuales		

Grado de correlación entre RC y CT	Símbolo utilizado	Valor numérico asignado
Muy correlacionados	◎	9
Correlacionados	○	3
Poco correlacionados	Δ	1
Sin correlación	Blanco	0

		Características técnicas				
		A	B	C	D	E
Reque-rimientos de los clientes	1	○				
	2		△	△		△
	3	○		○		
	4					

RC con consideración débil (row 2)

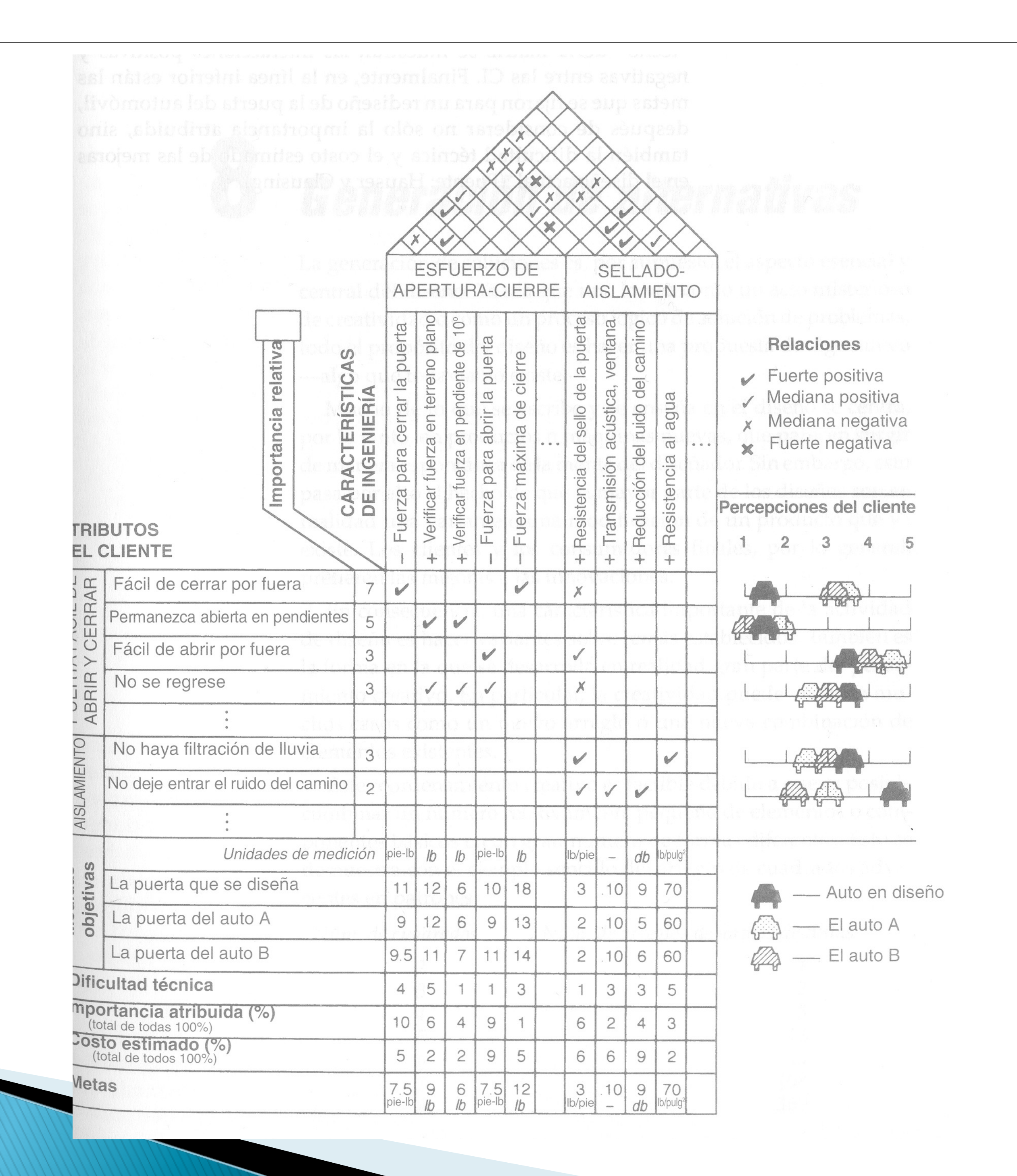
RC no considerado (row 4)

CT innecesaria (column D)

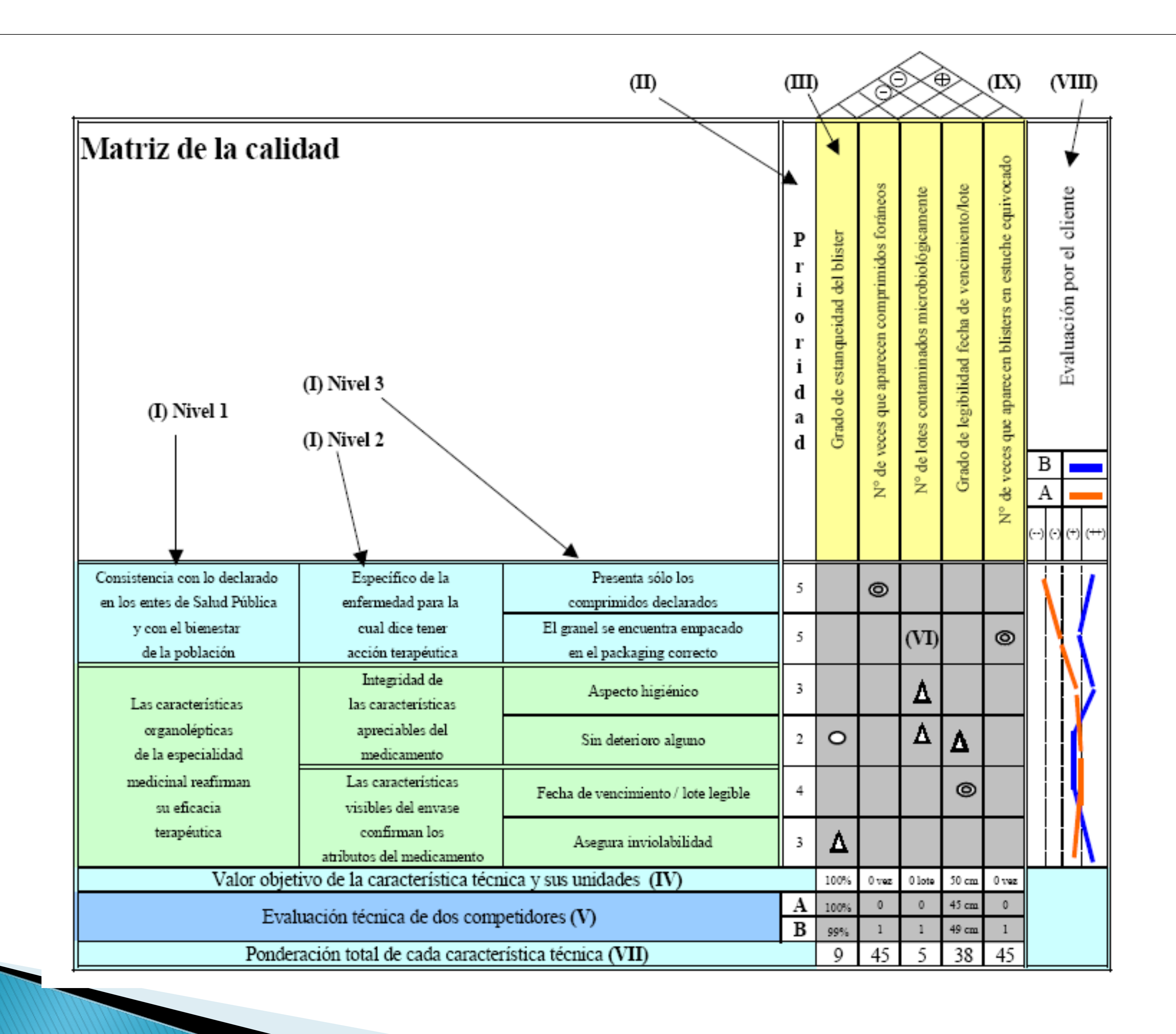
CT redundante (column E)

RC: Requerimientos

CT: Características técnias

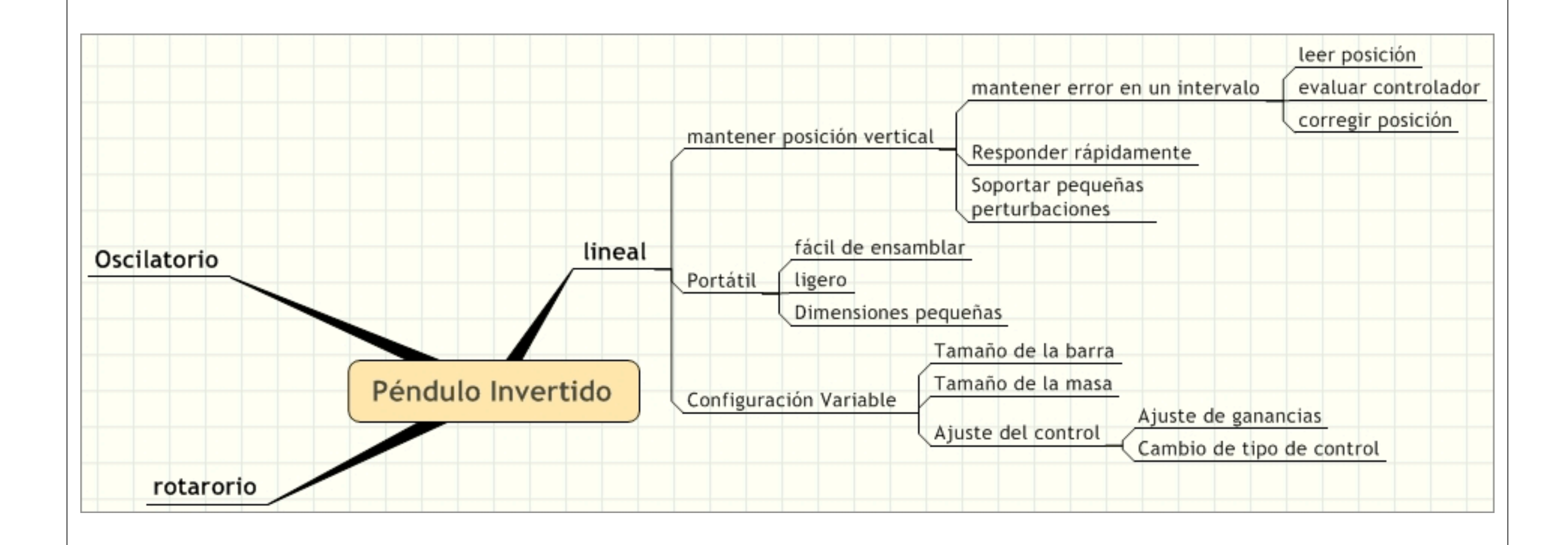


ESFUERZO DE APERTURA-CIERRE
SELLADO-AISLAMIENTO
Relaciones
Fuerte positiva
Mediana positiva
Mediana negativa
Fuerte negativa
Importancia relativa
CARACTERÍSTICAS DE INGENIERÍA
Fuerza para cerrar la puerta
Verificar fuerza en terreno plano
Verificar fuerza en pendiente de 10°
Fuerza para abrir la puerta
Fuerza máxima de cierre
Resistencia del sello de la puerta
Transmisión acústica, ventana
Reducción del ruido del camino
Resistencia al agua
TRIBUTOS
EL CLIENTE
ABRIR Y CERRAR
AISLAMIENTO
Fácil de cerrar por fuera 7
Permanezca abierta en pendientes 5
Fácil de abrir por fuera 3
No se regrese 3
No haya filtración de lluvia 3
No deje entrar el ruido del camino 2
Percepciones del cliente
1 2 3 4 5
Unidades de medición: pie-lb, lb, lb, pie-lb, lb, lb/pie, –, db, lb/pulg²
objetivas
La puerta que se diseña: 11, 12, 6, 10, 18, 3, .10, 9, 70
La puerta del auto A: 9, 12, 6, 9, 13, 2, .10, 5, 60
La puerta del auto B: 9.5, 11, 7, 11, 14, 2, .10, 6, 60
ificultad técnica: 4, 5, 1, 1, 3, 1, 3, 3, 5
mportancia atribuida (%) (total de todas 100%): 10, 6, 4, 9, 1, 6, 2, 4, 3
osto estimado (%) (total de todos 100%): 5, 2, 2, 9, 5, 6, 6, 9, 2
Metas: 7.5 pie-lb, 9 lb, 6 lb, 7.5 pie-lb, 12 lb, 3 lb/pie, .10 –, 9 db, 70 lb/pulg²
Auto en diseño
El auto A
El auto B



Matriz de la calidad
(II)
(III)
(IX)
(VIII)
(I) Nivel 1
(I) Nivel 2
(I) Nivel 3
Prioridad
Grado de estanqueidad del blister
N° de veces que aparecen comprimidos foráneos
N° de lotes contaminados microbiológicamente
Grado de legibilidad fecha de vencimiento/lote
N° de veces que aparecen blisters en estuche equivocado
Evaluación por el cliente
B
A
(--) (-) (+) (++)
Consistencia con lo declarado en los entes de Salud Pública y con el bienestar de la población
Específico de la enfermedad para la cual dice tener acción terapéutica
Presenta sólo los comprimidos declarados
5
El granel se encuentra empacado en el packaging correcto
5
(VI)
Las características organolépticas de la especialidad medicinal reafirman su eficacia terapéutica
Integridad de las características apreciables del medicamento
Aspecto higiénico
3
Sin deterioro alguno
2
Las características visibles del envase confirman los atributos del medicamento
Fecha de vencimiento / lote legible
4
Asegura inviolabilidad
3
Valor objetivo de la característica técnica y sus unidades (IV)
100% | 0 vez | 0 lote | 50 cm | 0 vez
Evaluación técnica de dos competidores (V)
A | 100% | 0 | 0 | 45 cm | 0
B | 99% | 1 | 1 | 49 cm | 1
Ponderación total de cada característica técnica (VII)
9 | 45 | 5 | 38 | 45

Ejemplo:



Péndulo Invertido
Oscilatorio
rotarorio
lineal
mantener posición vertical
mantener error en un intervalo
leer posición
evaluar controlador
corregir posición
Responder rápidamente
Soportar pequeñas perturbaciones
Portátil
fácil de ensamblar
ligero
Dimensiones pequeñas
Configuración Variable
Tamaño de la barra
Tamaño de la masa
Ajuste del control
Ajuste de ganancias
Cambio de tipo de control


Fijación de requerimientos

- El conjunto de requerimientos comprende la especificación del rendimiento del producto o la máquina.
- Hay que establecer o por lo menos identificar las especificaciones más importantes en los primeros momentos del proceso de diseño.

Ejemplos.

D: Demandas
d: Deseadas

		Especificación	
		para Llave mezcladora operada con una mano	*Página* 1
Cambios	*D y d*	*Requerimientos*	*Responsable*
	D	1 Capacidad (flujo mezclado) máx. 10 l/min a 2 bars	
	D	2 Presión máx. 10 bars (presión de prueba 15 bars según DIN 2401)	
	D	3 Temp. del agua: 60 °C estándar 100 °C (tiempo breve)	
	D	4 Fijación de la temperatura independiente de la capacidad y presión	
	d	5 Fluctuación permisible de temp. ± 5 °C a una dif. de presión de ± 5 bars entre el suministro de agua caliente y fría	
	D	6 Conexión: 2 tubos de cobre 10 x 1 mm / = 400 mm	
	D	7 Conexión de un solo orificio ∅ 35^{+2}_{-1} mm espesor de recipiente 0 - 18 mm (Cumplir con las dimensiones del recipiente DIN EN 31 DIN EN 32 DIN 1368)	
	D	8 Descarga por encima del borde superior del recipiente: 50 mm	
	D	9 Adaptarse a recipiente doméstico	
	d	10 Convertible a accesorios en la pared	
	D	11 Operación fácil (niños)	
	D	12 Ausencia de energía externa	
	D	13 Suministro de agua dura (agua potable)	
	D	14 Identificación clara del ajuste de temperatura	
	D	15 Marca comercial en lugar prominente	
	D	16 Ausencia de conexión de los dos suministros cuando esté cerrada	
	D	17 Ausencia de conexión cuando se extraiga agua	
	d	18 Que la manija no se caliente por arriba de 35 C	
	D	19 Que no queme al tocar los accesorios	
	d	20 Colocar protección contra quemaduras si el costo extra es pequeño	
	d	21 Operación obvia manejo sencillo y conveniente	
	D	22 Contornos suaves y de fácil limpieza sin bordes afilados	
	D	23 Operación silenciosa (£ 20 dB según DIN 52218)	
	D	24 Vida de servicio de 10 años con 300 000 operaciones aproximadamente	
	d	25 Fácil mantenimiento y reparación sencilla.	
	D	26 Usar refacciones estándar	
	D	27 Costos máx. de fabr. 30 marcos alemanes (3000 unidades al mes)	
	D	28 Programas desde el comienzo del desarrollo	

	Diseño conceptual	Diseño de detalles	Diseño de la forma	Prototipo	
después de	2	4	6	9	meses

		Especificación	
	para	Medidor de combustible	*Página 1*
Cambios	*D y d*	*Requerimientos*	*Responsable*
		1. Contenedor, conexión, distancia	
	D	Volumen: 20 - 160 l	
		Forma fija o no especificada (rígida)	
	D	Material: acero o plástico	
		Conexión al contenedor:	
	d	Conexión de la brida	
	D	Conexión superior	
	D	Conexión lateral	
		H = 150 - 600 mm	
	d	$d = \varnothing$ 71 mm, h = 20 mm	
	D	Distancia del tanque al indicador:	
		≠ 0 m, 3 - 4 m	
	d	1 - 20 m	
		2. Contenido, rango de temperatura, material	
		Líquido / Rango de operación / Ambiente de almacenamiento	
	D	Gasolina o diesel / D -25 a +65°C / -40 a +100°C	
		3. Señal, energía	
	d	Salida del transmisor: señal eléctrica (cambio de voltaje con cambio en cantidad)	
	D	Fuente disponible de energía: c.d. a 6, 12, 24 V	
		Variación de voltaje -15 a +25%	
	D	Exactitud de señal de salida a máx. ± 3%	
	d	± 2%	
		(junto con error del indicador ± 5%) bajo condiciones normales, nivel horizontal, v = constante; capaz de resistir sacudidas de un manejo normal	
	D	Sensibilidad de respuesta: 1% de máxima señal de salida	
	d	0.5% de máxima señal de salida	
	D	Señal no afectada por el ángulo de la superficie del líquido	
	D	Posibilidad de calibración de señal	